Aus dem Institut für Leibeserziehung der Freien Universität Berlin
Direktor: Dr. phil. Peter Goeldel
Wiss. Oberassistent: Priv. Doz. Dr. med. Harald MELLEROWICZ
und sportärztlichen Hauptberatungsstelle Berlin
Leiter: Priv. Doz. Dr. med. Harald Mellerowicz

VERGLEICHENDE AUSKULTATORISCHE UND REGISTRIERENDE MESSUNGEN DES SYSTOLISCHEN UND DES DIASTOLISCHEN DRUCKES BEI GLEICHEN ERGOMETRISCHEN LEISTUNGEN

(An hochtrainierten Dauersportlern, untrainierten Studenten und Jugendlichen mit hypertoner Regulation)

INAUGRUAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Maidorn, Kurt
aus Prieschka

1961

Druck:

Ernst - Reuter - Gesellschaft
der Förderer und Freunde der Freien Universität e.V.

Dissertations - Druckstelle

Berlin-Dahlem, Garystr. 45, Tel.: 76 52 61, App. 668

Aus dem Institut für Leibeserziehung der Freien Universität Berlin
Direktor: Dr. phil. Peter Goeldel
Wiss. Oberassistent: Priv. Doz. Dr. med. Harald MELLEROWICZ
und sportärztlichen Hauptberatungsstelle Berlin
Leiter: Priv. Doz. Dr. med. Harald Mellerowicz

VERGLEICHENDE AUSKULTATORISCHE UND REGISTRIERENDE MESSUNGEN DES SYSTOLISCHEN UND DES DIASTOLISCHEN DRUCKES BEI GLEICHEN ERGOMETRISCHEN LEISTUNGEN

(An hochtrainierten Dauersportlern, untrainierten Studenten und Jugendlichen mit hypertoner Regulation)

INAUGRUAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Maidorn, Kurt
aus Prieschka

Dekan: Professor Dr. med., Dr. med. dent. Ewald Harndt

Referent: Priv.Doz. Dr. med. Harald Mellerowicz

Korreferent: Professor Dr. med., Dr. sc.h.c., Dr. med. vet. h.c., Dr. med. h.c. Hans Freiherr v. Kress

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 23. Okt. 1961

Gliederung

A. Einleitung und Begründung der Arbeit

B. Literaturteil

I. Entwicklung der Methoden zur Bestimmung des systolischen und diastolischen arteriellen Blutdrucks

a. Blutige Verfahren

b. Unblutige Verfahren

1. Das oscillatorische Verfahren

2. Das palpatorische Verfahren

3. Das auskultatorische Verfahren

4. Graphische Methoden

II. Das Verhalten des systolischen und diastolischen arteriellen Blutdrucks unter Ruhebedingungen

a. Arrhythmische und rhythmische Schwankungen des systolischen und diastolischen arteriellen Blutdrucks

b. Psychische und physische Alteration beider arterieller Blutdruckwerte durch die arterielle Blutdruckmessung

c. Physikalische Alterationen beider arterieller Blutdruckwerte durch die Blutdruckmessung

d. Seitendifferenz des arteriellen Blutdrucks

III. Derzeitige Kenntnisse über das Verhalten des systolischen und des diastolischen arteriellen Blutdrucks bei Trainierten, Untrainierten und Hypertonikern vor, während und nach einer körperlichen Leistung

a. Das Verhalten des systolischen und diastolischen Druckes in Ruhe bei den Vergleichsgruppen

b. Das Verhalten des systolischen arteriellen Blutdrucks während und nach einer körperlichen Leistung bei Trainierten, Untrainierten und Hypertonikern.

c. Das Verhalten des diastolischen arteriellen Blutdrucks während und nach einer Leistung bei Trainierten, Untrainierten und Hypertonikern

d. Das Verhalten der arteriellen Blutdruckamplitude vor, während und nach einer körperlichen Leistung bei Trainierten, Untrainierten und Hypertonikern

C. Methodik

I. Untersuchungsmaterial

a. Untersuchungsgut

b. Untersuchungsbedingungen

c. Untersuchungsgeräte

d. Auswertung der graphisch aufgezeichneten arteriellen Blutdruckmessungen

II. Untersuchungsmethodik

a. Beschreibung der Bestimmungsmethoden

b. Beschreibung der Versuche

III. Kritik der Methode

a. Am Untersuchungsgut

b. An den Untersuchungsgeräten

IV. Statistische Beurteilung der Ergebnisse

D. Beschreibung der Ergebnisse

I. Beschreibung der absoluten Ergebnisse der Abteilung I

a. Darstellung der ermittelten Ergebnisse nach der Korotkoff-Methode

b. Darstellung der nach der Methode von Boucke-Brecht ermittelten Ergebnisse

c. Gegenüberstellung der jeweiligen Werte beider Methoden

II. Beschreibung der prozentualen Ergebnisse der Abteilung I

a. Darstellung der nach der Korotkoff-Methode ermittelten Ergebnisse

b. Darstellung der nach der Methode von Boucke-Brecht ermittelten Ergebnisse

c. Gegenüberstellung der jeweiligen Werte beider Methoden

III. Besprechung der statistischen Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

IV. Beschreibung der Ergebnisse der Abteilung II

a. Ruhewerte

b. Werte der Arbeits- und Erholungsphasen

E. Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

I. Beurteilung der Simultanergebnisse und der Bestimmungsmethoden

II. Beurteilung der Ergebnisse der drei Vergleichsgruppen

F. Zusammenfassung

G. Literaturnachweis

A. Einleitung

Kreislauffunktionsprüfungen sind zur Beurteilung des Gesundheitszustandes und der Leistungsfähigkeit eines Menschen unerläßlich. Einfache und genaue Verfahren mit möglichst geringem apparativen Aufwand sowie standardisierte Richtlinien sind erforderlich, um sie in der Praxis durchzuführen.

Die einfachste Kreislauffunktionsprüfung während und nach körperlichen Leistungen ist die Bestimmung der Herzschlagfrequenz. Die Beziehungen zwischen körperlicher Leistung und Herzschlagfrequenz sind ausreichend erforscht. Umfangreiche vergleichende Untersuchungen, die die genannten Bedingungen erfüllen, stehen hierfür zur Verfügung.

Eine Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit allein nach der Herzschlagfrequenz ist jedoch ungenügend. Die arterielle Blutdruckbestimmung wurde deshalb schon seit längerer Zeit ergänzend herangezogen. Kreislauffunktionsprüfungen nach einer körperlichen Leistung mit Hilfe der Blutdruckbestimmungen gehören heute zum Allgemeingut des praktischen Arztes. Es wurde aber versäumt, diese Funktionsprüfungen auf physikalisch exakt definierte körperliche Leistungen zu basieren und die Methodik zu standardisieren. Die bisher gewonnenen Ergebnisse sind folglich nicht vergleichbar und reproduzierbar. Ergänzend wurde deshalb das Ergometer (Leistungsmeßgerät) in die Kreislauffunktionsdiagnostik eingeführt.

Die Leistung läßt sich damit physikalisch exakt in mkg/sec bzw. Watt/min definieren. Die Kurbeltechnik an diesem Gerät ist einfach und braucht nicht besonders erlernt zu werden. Den arteriellen Druck kann man während des Kurbelns, wenn dieser Vorgang im Sitzen oder Liegen mit den Füßen erfolgt, an der A. brachiales auch leicht bestimmen.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, vergleichende Untersuchungen des arteriellen Druckes vor, während und nach einer bestimmten absolut und relativ gleichen Leistung an hochtrainierten Dauersportlern, untrainierten Studenten und Jugendlichen mit hypertoner Regulation graphisch nach dem Verfahren von Boucke-Brecht und auskultatorisch nach der Methode von Riva-Rocci-Korotkoff vorzunehmen und damit eine Grundlage für eine Beurteilung der Leistungsbreite des gesunden und arbeitsinsuffizienten Herzens und Kreislaufs für diese Alters- und Geschlechtsgruppe zu schaffen.

B. Literaturteil

I. Entwicklung der Methoden zur Bestimmung des systolischen und diastolischen arteriellen Blutdrucks

a. Blutige Verfahren

1628 hatte William Harvey (Rothschuh 1953) die Lehre vom Blutkreislauf begründet. Die ersten Blutdruckmessungen wurden direkt oder blutig schon um 1700 von dem englischen Geistlichen und Naturforscher Stephan Hales (Rothschuh 1953) versucht. Hales brachte in die am Pferd freipräparierte Arteria carotis und Vena jugularis je ein nach oben offenes gläsernes Steigrohr. In dem arteriellen Steigrohr stieg das Blut etwa 3 m hoch in dem venösen etwa 40 cm bis es dem Druck in den Gefäßen das Gleichgewicht hielt. Die Herzhöhe (v. Recklinghausen 1940) nahm Hales als 0-Punkt seiner Messung an. Er stellte auch schon die rhythmischen Schwankungen des Blutspiegels in der Glasröhre fest.

b. Unblutige Verfahren

In dem Bemühen, den arteriellen Druck unblutig oder direkt zu bestimmen, kam man erst weiter, als Poiseuille 1828 (v. Recklinghausen 1940) das U-förmig gebogene Quecksilbermanometer unter der Bezeichnung Hämodynameter in die Blutdruckmessung einführte. Entscheidende Anregungen erhielt diese Methode durch die Pulsschreibung oder Sphygmographie des Tübinger Physiologen Vierordt, der 1853 (Rothschuh 1953) den ersten Sphygmographen herausbrachte und Marey (Rothschuh 1953), der dessen Registriergerät 1860 verbesserte. Marey war auch der erste, der das Grundproblem der Bestimmung des arteriellen Druckes erfaßte. Er ließ auf die Arterie einen Flüssigkeits- oder Gasdruck einwirken, der das Gefäß gerade eben zum Kollabieren und Dekollabieren brachte, um den Puls zu unterdrücken und wiederkehren zu lassen. Marey schloß bei seinen Untersuchungen den Unterarm in einen Glaszylinder, den er am proximalen Ende mit einer Gummimanschette abdichtete und füllte den freien Raum im Zylinder mit Wasser. Das Wasser setzte Marey unter Druck, der mit Hilfe eines Manometers abgelesen und graphisch registriert werden konnte. Das durch den Kollaps und Dekollaps zwischen systolischem und diastolischem Druck entstehende Flottieren der Arterie sollte sich auf die Weichteile der Umgebung und auf die Flüssigkeit übertragen und dem Untersucher zur indirekten Bestimmung des Blutdrucks dienen. Die erhebliche Ungenauigkeit der Methode liegt darin, den Zeitpunkt festzuhalten, in dem das Flottieren auftritt. Denn am Unterarm kann man höchstens an der Arteria radialis Pulsationen beobachten.

Trotzdem ist Marey als der Erfinder der arteriellen Blutdruckbestimmung zu bezeichnen, da auf seiner Entdeckung alle weiteren Vervollkommnungen der Theorie und Technik aufgebaut sind.

Nach ihm kam es bald zur Ausbildung der noch heute allgemein üblichen Meßverfahren, unter denen geschichtlich gesehen das

1. oscillatorische Verfahren,
2. das palpatorische Verfahren nach Riva-Rocci,
3. das auskultatorische Verfahren nach Korotkoff und
4. die graphischen Methoden

die wichtigsten sind.

1. Das oscillatorische Verfahren

Drei prinzipielle Kriterien gibt es zur Erfassung des arteriellen Drukkes mittels oscillatorischen Verfahrens:

die Größe der Manschettenoscillation,
die Form der Manschettenoscillation und
das Kubitalissphygmogramm.

In der Bestimmung der Kriterien ergeben sich bei den Autoren sehr unterschiedliche Meinungen. Nach v. Recklinghausen (1940) müssen der systolische und diastolische Druck nach dem magnooscillatorischen Meßverfahren durch die obere und untere Grenze der großen Oscillation bestimmt werden. Seine Genauigkeit ist aber abhängig vom Verhältnis der Druckerniedrigung zur Pulsfrequenz. Nach E. Bauereisen, M. Paerisch und R. Schmerso (1953) sind wegen des undeutlichen Überganges der Größenänderung der Oscillation bei der arteriellen Druckbestimmung große Fehler nicht zu vermeiden.

Wegen der Vielzahl und Mannigfaltigkeit der Darstellung formoscillatorischer Kriterien lassen sich bei diesem Verfahren keine objektiven und absoluten Ergebnisse erzielen. (Bauereisen, Paerisch, Schmerso 1953)

Die verläßlichsten Kriterien zur indirekten oscillatorischen Blutdruckbestimmung scheint man aus dem Kubitalissphygmogramm zu erhalten. Als direktes Zeichen der Kompression und Dekompression der A. brachialis beschrieben Frank und Wezler (1931) im Kubitalissphygmogramm eine negative Zacke, die dem aufsteigenden Hauptausschlag unmittelbar und entgegengesetzt vorausgeht. Die negative Zacke tritt bei Überschreiten des systolischen Blutdrucks plötzlich auf und verschwindet ebenso plötzlich bei Überschreiten des diastolischen Blutdrucks. Von Frank und Wezler wird die negative Zacke als graphischer Ausdruck der Korotkoff'schen Geräusche gedeutet, während Bauereisen, Paerisch und Schmerso (1953) annehmen, daß sie durch eine, dem Volumenpuls vorauseilende Arterienerweiterung entsteht. Laszt, Müller und Pirscher (1949) fanden aber an Hand von Simultanmessungen, daß die negative Zacke schon bei einem Manschettendruck verschwindet, der etwas höher ist als der diastolische Druck.

2. Das palpatorische Verfahren

Neben Riva-Rocci (v. Recklinghausen 1940) ist der Wiener Arzt Professor v. Basch (v. Recklinghausen 1940), der seinem Blutdruckmesser die Bezeichnung Sphygmomanometer gab, der bedeutendste Erforscher der palpatorischen Messung. Das Problem dieser Methode besteht darin, ob der arterielle Druck mit schmaler oder breiter Manschette oder mit einer Pelotte am Handgelenk oder Oberarm bestimmt werden soll. Am gebräuchlichsten ist die Messung am Oberarm mit breiter Manschette (v. Recklinghausen 1940). Wie direkte und indirekte Vergleichsmessungen von van Bergen, Weatherhead, Treloar, Dobkin und Buckley (1955) ergaben, ist die palpatorische Bestimmung die ungenaueste von allen genannten Methoden.

3. Das auskultatorische Verfahren

Das zur Zeit verbreiteste Meßverfahren ist die auskultatorische Bestimmung nach Korotkoff (v. Recklinghausen 1940), obwohl es das Verfahren ist, das seither der meisten Kritik ausgesetzt ist. Schon zu der Frage über das Entstehen der auskultatorischen Phänomene und ihrer Zuordnung zu den arteriellen Druckwerten können wir keine eindeutige Erklärung abgeben. Darüber schreibt z. B. von Recklinghausen:

> "Bei allen anderen Methoden liegen die Zusammenhänge des Kriteriums mit den hämodynamischen Geschehen klar zutage, hier sind sie dunkel."

Deshalb sind seit Bekanntwerden der Korotkoff'schen Methode mehrere Theorien über die Entstehung der Korotkoff'schen Töne +) entwickelt worden, von denen nur die wichtigsten genannten werden sollen.

Der russische Arzt Korotkoff (v. Recklinghausen 1940) nahm an, daß die Geräusche durch das pulsatorische plötzliche Füllen und Dehnen und durch die plötzliche Anspannung der Arterienwand distal der komprimierenden Manschette entstehen, wenn die Arterie durch einen vorübergehenden supradiastolischen Druck leergelaufen ist. Diese Theorie kann aber die verschiedenen Phasen der Lautstärke- und Klangänderung im einzelnen nicht erklären, die bei der arteriellen Druckbestimmung nach Korotkoff meistens auftreten.

Erzeugt man nämlich in der Manschette am Oberarm einen suprasystolischen Druck, so ist distal von ihr zunächst nichts zu hören. Wird der Druck kontinuierlich abgelassen, treten zuerst leise Töne auf, die im Verlauf der Druckminderung lauter werden - 1. Phase - und dann über einen großen Druckbereich eine gewisse Lautstärke beibehalten - 2. Phase - . In der 3. Phase nimmt die Lautstärke der Töne ab, bis sie verschwinden (Turnhagen 1949).

Nach den englischen Forschern William und J. Kesson (v. Recklinghausen 1940) entstehen die Töne durch Erschütterung der gesamten Weich-

---

+) Die Bezeichnung "Töne" für die auskultatorische Korotkoff-Phänomene, die sich in der klinischen Umgangssprache eingebürgert hat und deshalb im Literaturteil dieser Arbeit fortgeführt wird, ist physikalisch falsch, da es sich nicht um Töne sondern um Geräusche handelt.

teile innerhalb der Manschette. Dagegen sucht Groedel (1932) die Ursache nur durch die Turbulenz des Blutes, die sich wie ein Stenosegeräusch darstellt, zu erklären, während Aalsmeer (1932) die Schallerscheinungen auf Spannungsunterschiede der Gefäßwand während der arteriellen Druckmessung zurückführt. Erlanger (v. Recklinghausen 1940) nimmt an, daß das Blut in der Systole auf die distal von der Manschette stehende Blutsäule wie ein Wasserhammer schlägt, wodurch die Korotkoff'schen Töne entstehen. Bondi (1936) zeigt an Hand von umfangreichen Modellversuchen, daß durch die Bildung und Ablösung der Wirbel örtliche Schwankungen von Druck und Geschwindigkeit ganz primär und nur in der Flüssigkeit entstehen. Erst diese bewirken die Vibrationen der Gefäßwand und der umgebenden Weichteile und können durch Schallwellen in die Umgebung ausstrahlen. Nach Turnhagen (1949) tritt das Korotkoff'sche Phänomen in dem Moment auf, in dem die kollabierende Arterie ihre Rundform - Kreisform - wieder einnimmt, und nach Heinrich (1950) bestehen die Arteriengeräusche aus einem Ton- und Geräuschsegment in Abhängigkeit von dem elastischen Zustand der Arterienwand und der Blutgeschwindigkeit. In Anlehnung daran stellten Drube und Anschütz (1954) fest, daß die Stärke der Arterientöne durch die Größe des Schlagvolumens und der Blutgeschwindigkeit bestimmt wird.

Über den Entstehungsort der Korotkoff'schen Töne finden sich in der Literatur, entsprechend der Vielzahl der angeführten Theorien über die Entstehungsursache, die verschiedensten Angaben.

Der arterielle Druck wird auskultatorisch heute noch allgemein nach den Angaben von Korotkoff (Brecht, Amann, Boucke 1955. v. Recklinghausen 1940) ermittelt. Der systolische Druck wird mit dem Auftreten des ersten leisen charakteristischen Korotkoff'schen Tones bestimmt, während man den diastolischen Druck mit dem Verschwinden des letzten leisen dumpfen Tones abliest. Diese Ablesung resultiert aus Simultanmessungen mit den bereits besprochenen und anderen Methoden, die annähernde Übereinstimmung gegeben haben. (Edens 1929, Hansen 1949, Laszt, Müller u. Pirscher 1949, Merke u. Müller 1923, Müller u. Blauel 1907, Wolff u. Bonsdorff 1931). Nach Anschütz u. Drube (1954) ergibt der Fehler der auskultatorischen Blutdruckmessung in Ruhe systolisch und diastolisch ca. $\pm$ 10 mmHg. Trotzdem ändern sich die Meinungen und Ansichten zu der Frage, welche Kriterien registriert werden sollen, in der Literatur laufend. So wurde von Turnhagen (1949) und vielfach von amerikanischen Autoren der systolische Druck erst beim Lauterwerden der Töne ermittelt. Für die Bestimmung des diastolischen Druckes wurde von der "American Heart Association" 1939 (Brecht, Amann u. Boucke 1955) vorgeschlagen, das Leiserwerden der Töne zu registrieren und 1952 erneut angegeben, wie nach Korotkoff (Brecht, Amann, Boucke 1955. v. Recklinghausen 1940, Hansen 1949, und Turnhagen 1949) das Verschwinden der Töne festzustellen sei.

v. Recklinghausen (1940) stellt sehr früh an umfangreichen Untersuchungen eine Beziehung zur Weichteildicke des Oberarms und der Manschettenbreite fest, die von Amann (1956), Anschütz u. Burkert (1954), Kirchsieper (1952) und Turnhagen (1949) bestätigt wurden. Danach gilt:

je breiter die Manschette, umso kleiner ist der Meßfehler und umgekehrt. Allgemein wendet man heute die 12 - 15 cm breite Manschette nach v. Recklinghausen an. Trotzdem muß man bei der Messung die Weichteildicke berücksichtigen (Anschütz u. Burkert 1954 , Kirchsieper 1952 , Turnhagen 1949). Je dicker das Gewebe über der Arterie ist, desto höhere Werte werden nach der Korotkoff'schen Methode auskultiert. Weiter spielt das Anlegen der Manschette eine wichtige Rolle. Sie darf weder zu fest noch zu locker angelegt werden (Amann 1956). Der Druckabfall in der Manschette muß kontinuierlich erfolgen (Brecht, Amann, Boucke 1955).

Wenn nun trotzdem der Blutdruck bei jeder klinischen Untersuchung fast ausschließlich nach der Korotkoff'schen Methode ermittelt wird, dann liegt es nicht nur an der bequemen Ausübung der Messung mittels handlichen Erkameters und kurzzeitiger Ausführung, sondern ebenso daran, daß sich scharfe Grenzpunkte anbieten, - vor allem hinsichtlich des systolischen Druckes - die sich leicht bestimmen lassen. Die entscheidenden Fehlerquellen liegen vielmehr bei der subjektiven Feststellung und Ablesung des Blutdrucks nach der Korotkoff'schen Methode durch den Untersucher (Wright, Schneider und Ungerleider, 1938), wodurch sie sich in ihrer Exaktheit von den anderen Methoden unterscheidet.

4. Graphische Methoden

Sehr früh in der Geschichte der Blutdruckmessung wurden schon Versuche unternommen, den arteriellen Druck am Menschen und am Tier graphisch zu registrieren. Es begann eigentlich schon mit der Erfindung des Kymographions durch den Leipziger Physiologen C. Ludwig (v. Recklinghausen 1940). Ludwig setzte einen Schwimmer aus Eisen oder Elfenbein auf die Quecksilbersäule und schrieb die pulsatorischen Schwankungen des Schwimmers über ein Hebelsystem auf eine sich gleichmäßig drehende Rußtrommel auf.

Der Grund für die graphische Registrierung lag nicht nur darin, wichtige allgemeine und spezielle Beobachtungen als Dokument festzuhalten, vielmehr auch darin, die Meßergebnisse als solche zu verbessern und subjektive Fehlerquellen auszuschalten.

Heute stehen drei prinzipielle Möglichkeiten der graphischen Registrierung zur Verfügung:

1. Mechanische Möglichkeiten
2. Photographische Möglichkeiten
3. Elektrische Möglichkeiten und Kombinationen der obengenannten Arten der graphischen Registrierung.

Die mechanische Registrierung erfolgt mittels Kymographions und ist wie die photographische fast nur noch der wissenschaftlichen Forschung vorbehalten. Die elektrische Schreibung ist mit der Photographischen eigentlich immer kombiniert. Die ersten Versuche gehen auf Garten (1915/16) zurück. Die Schreibung des Blutdrucks mit Hilfe des Elektrokardiographen wird zum ersten Mal von Trommer (1927) angegeben und von Boucke-Brecht (1953) erneut in sehr handlicher Weise eingeführt.

Das Verfahren von Trommer ist ein instrumentell-palpatorisches, indem es gleichzeitig den Druck in der Manschette und den Puls im Handgelenk aufgeschrieben hat, während das von Boucke-Brecht (1953) als ein instrumentell-auskultatorisches Verfahren - also als ein Kombinationsverfahren - zu bezeichnen ist.

II. Das Verhalten des systolischen und diastolischen arteriellen Blutdrucks unter Ruhebedingungen

a. Arrhythmische und rhythmische Schwankungen des systolischen und diastolischen arteriellen Blutdrucks.

Das Verhalten des systolischen und diastolischen Druckes ist abhängig von arrhythmischen und rhythmischen Schwankungen, die bei der Bestimmung, Auswertung und Beurteilung der Messung berücksichtigt werden müssen. Sie entstehen durch psychische, reflektorische und mechanische Einflüsse. Besonders bei der Blutdruckmessung nach Korotoff, aber auch bei anderen Methoden, sind sie zu berücksichtigen. Sie laufen sehr schnell ab und können durch die Messung selbst entstehen (R. Wagner 1942).

II. b. Psychische und physische Alteration beider arterieller Blutdruckwerte durch die Blutdruckmessung

Es ist schon lange bekannt, daß sich durch Angst und Erregung des Patienten bei der Untersuchung der Blutdruck und die Herzschlagfrequenz erheblich verändern können. Daher spricht man scherzweise von einem "Doktorblutdruck" und einem "Doktorpuls". Besonders Herxheimer (1953), Parade u. Ohr (1943), Reindell, Schildge, Klepzig, Kirchhoff (1955) und Wagner (1942) stellten eindrucksvolle Blutdrucksteigerungen durch psychische Erregung fest.

v. Recklinghausen (1940) hat an Hand von formoscillatorisch-graphischer Blutdruckmessung nachgewiesen, daß die einfache Messung am Oberarm oft eine zentrale Blutdrucksteigerung zur Folge hat und fordert deshalb, möglichst schnell zu messen und zwischen den Messungen jeweils den Kompressionsdruck auf 0 absinken zu lassen.

II. c. Physikalische Alterationen beider arterieller Blutdruckwerte durch die Blutdruckmessung

Nachdrücklich zu erwähnen ist der durch mechanische Einflüsse entstehende Stauüberdruck oder Enddruck oder gestaute systolische Druck. Dieser entsteht auf hydromechanischem Wege und zwar durch Reflexion der Pulswelle an der verschlossenen Stelle der Meßarterie durch Deformation der Arterienwand und des umliegenden Gewebes (A. Müller 1951). Deshalb erhalten wir bei unseren Meßmethoden einen künstlich überhöhten systolischen Blutdruck, den wir bei der auskultatorischen Methode allgemein berücksichtigen müssen. Hierin scheint auch die Ursache zu liegen, weshalb von mehreren Autoren bei Vergleichsmessung mit der direkten Methode der auskultierte systolische Wert höher gemessen wird als der blutig ermittelte Wert. v. Recklinghausen (1940) hat über formoscillatorische Kriterien berichtet, mit deren Hilfe sich der ungestaute systolische Druck bestimmen lassen soll.

Schließlich müssen noch die anhaltenden rhythmischen Veränderungen des Blutdrucks aufgeführt werden, die zum ersten Mal von A. Staehelin 1897 (Wagner 1942) angegeben wurden und jetzt als Traube-Hering-Mayer'sche Wellen (THM-Wellen) bezeichnet werden. Die Hauptursache in der Entstehung der THM-Wellen sieht Wagner (1942) in der Änderung des peripheren Gefäßtonus, die mit rhythmischen Schlagvolumenschwankungen interferieren, weil die systolischen und diastolischen Blutdruckwerte sich während der THM-Wellen nicht in gleicher Weise ändern. Die diastolischen Druckschwankungen sind gewöhnlich größer als die des systolischen Druckes. Die Wellenhöhe, die von Wagner (1942) von wenigen mmHg bis über 40 mmHg - von Schröder und Menhard (1956) systolisch bis 27 mmHg und diastolisch bis zu 19 mmHg -, und die Wellendauer von durchschnittlich 12 sek - 5 Wellen/min - gefunden wurden, werden von mehreren Faktoren gebildet. v. Aalkjaer (Wagner 1942) fand bei steigender Kohlensäurezufuhr in der Einatmungsluft eine Erhöhung und Verlängerung der THM-Wellen.

Von kaum geringerer Bedeutung sind die respiratorischen Schwankungen des arteriellen Blutdrucks, die den THM-Wellen überlagert sind, wobei zwischen der Zahl der Atemzüge und den respiratorischen Blutdruckschwankungen keine Beziehungen bestehen.

Diese dauernden und schnell ablaufenden arrhythmischen und rhythmischen Schwankungen des Blutdrucks haben außerdem zur Folge, daß sich der arterielle Druck zwischen der allmählichen Bestimmung des systolischen und diastolischen Wertes beträchtlich ändern kann. Daraus ergibt sich die Forderung, jede Blutdruckbestimmung mehrmals zu wiederholen, um diesen Fehler auszuschließen. Er wird erst dann vollständig beseitigt, wenn der systolische und diastolische Druck des gleichen Pulses bestimmt werden können. Broemser und Liedholm (1936) haben ein solches Verfahren angegeben, dem jedoch wieder andere methodische Fehler anhaften.

Weitere rhythmische Schwankungen erfolgen während des Tages- und Jahresablaufes. Die durchschnittlichen Tagesschwankungen betragen nach Hantschmann (1952) bis zu 20 mmHg, worin die leichten Schwankungen durch Nahrungsaufnahme eingeschlossen sind. Sie führen in den 1. Stunden des Schlafes zu einem Minimum und in den späten Nachmittagsstunden zu einem Maximum. Nach Kusui und Miyano (1955) ist der arterielle Druck im Winter und Frühling um ca. 8 mmHg höher als im Sommer.

II. d. Seitendifferenz des arteriellen Blutdrucks

Zur Problematik der Blutdruckseitendifferenz finden sich in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben (Hoyer 1955 und 1956, Beckmann 1952, Stein 1956). Es werden sowohl links - überwiegende als auch rechts - überwiegende und ebenso seitengleiche Untersuchungswerte angegeben. Bei gesunden, jüngeren Untersuchungsmethoden dominieren die seitengleichen Ergebnisse (Stein 1956), während mit zunehmendem Alter nachweislich Seitendifferenzen auftreten, wobei häufig rechts höhere Werte als links ermittelt worden sind.

III. Derzeitige Kenntnisse über das Verhalten des systolischen und des diastolischen Blutdrucks bei Trainierten, Untrainierten und Hypertonikern vor, während und nach einer körperlichen Leistung.

a. Das Verhalten des systolischen und diastolischen Druckes in Ruhe bei den Vergleichsgruppen

Über das Verhalten des systolischen Druckes in Ruhe bei Untrainierten, Trainierten und "Hypertonikern" herrscht unter den Autoren völlige Übereinstimmung (Andersen und Elvik 1956, Federici 1956, Herxheimer 1933, Mellerowicz 1956, Nöcker 1954, Reindell und Mitarbeiter 1955, Weiß 1949).

Im Vergleich zum Untrainierten und entsprechend zum "Hypertoniker" weisen die trainierten Kreisläufe niedrigere systolische Werte auf. Diese ökonomische Kreislaufregulation in Ruhe resultiert nach Duesberg und Schröder (Mellerowicz 1956) in Übereinstimmung mit Mellerowicz (1956) aus der Zentralisation des Kreislaufes bei vermindertem Minutenvolumen durch Verkleinerung des Fassungsraumes der großen Gefäße und Erhöhung des peripheren Widerstandes.

Unterschiedliche Angaben werden dagegen über den diastolischen arteriellen Druckwert gemacht. Nach Mellerowicz (1956) und Reindell und Mitarbeiter (1955) ist der diastolische Wert der Trainierten gegenüber der Norm erhöht. Mellerowicz (1956) findet die Ursache der Erhöhung

1. in einer Verminderung des Schlagvolumens und
2. vorwiegend in einer stärkeren Erhöhung des peripheren Gesamtströmungswiderstandes und
3. in einer geringen Erniedrigung des elastischen Widerstandes begründet.

Nöcker (1954) und Weiß (1949) haben wiederum durch Training eine Verschiebung des diastolischen Druckes zu niedrigeren Werten festgestellt.

III. b. Das Verhalten des systolischen arteriellen Blutdrucks während und nach einer körperlichen Leistung bei Trainierten, Untrainierten und Hypertonikern

Der systolische Druck steigt während der Arbeit bei gesunden Untersuchungspersonen ganz allgemein an. Durch blutig-unblutige Simultanmessungen werden die Ergebnisse von Anschütz und Drube (1954), von Fraser und Chapman (1954) und von Henschel und Mitarbeiter (1954) bestätigt. Henschel und Mitarbeiter fanden mit der direkten Methode jedoch höhere Werte als mit der indirekten Methode. Für die Erholungsphase finden diese Verfasser in Übereinstimmung mit den Untersuchungsergebnissen von Anschütz und Drube höhere indirekt als direkt ermittelte Meßwerte.

Der systolische Druck, bestimmt nach der auskultatorischen Methode von Riva-Rocci-Korotkoff, verhält sich bei den Probanden der Vergleichsgruppen während der Belastung und in der Erholungsphase verschieden. Die initiale Steigerung des systolischen Druckes ist nach Herxheimer (1933) im Beginn einer Anstrengung umso geringer, je ausgeprägter der Trainingszustand ist. Nach Reindell und Mitarbeiter (1955) ändert sich der arterielle Druck während der Leistungseinstel-

lung mit beschleunigter Umschaltung. Die Untrainierten zeigen bei größeren Leistungen einen stärkeren Anstieg als die Trainierten (Heinecker und Mitarbeiter 1960). Bei gleichen Leistungen bis zu 150 Watt konnte Hollmann (1959) zwischen Medizinstudenten und Sportstudenten keine Differenzen in der Höhe des systolischen Druckes feststellen. Während Normalpersonen im steady state nach Reindell und Mitarbeiter (1957) durchschnittlich zwischen 100 und 150 Watt leisten - nur 10 % konnten mit 200 Watt belastet werden, wobei sie auch keine höheren Blutdruckwerte erzielten - leisten Trainierte im steady state bis zu 350 Watt und erreichen Druckwerte bis zu 240/100. Maximalwerte während echter sportlicher Hochleistungen sind noch nicht bekannt. Bei den "Hypertonikern" steigt der arterielle Blutdruck im Vergleich zur Ausgangslage nicht so hoch an wie bei den anderen beiden Gruppen (Fowler und Guz 1954, Weiß 1949). Wie von fast allen Autoren beschrieben worden ist, erfolgt die Rückkehr des arteriellen Druckes zum Ausgangswert in der Erholungsphase bei den Trainierten schneller als bei den Untrainierten. Weiß (1949) fand, daß bei den "Hypertonikern" der systolische Druck - wenn er nicht schon stabil ist - nach der Arbeit den Ruhewert sogar erheblich unterschreitet und erst nach längerer Zeit wieder zum Ausgangswert zurückkehrt.

III. c. Das Verhalten des diastolischen arteriellen Druckes während und nach einer Leistung bei Trainierten, Untrainierten und Hypertonikern

Die Bestimmung des diastolischen Druckes während der Arbeit und in der Erholungsphase bereitet wegen des ungenauen Kriteriums der Korotkoff'schen Methode besondere Schwierigkeiten. Deshalb wird die Beurteilung des diastolischen Wertes von vielen Autoren als unzulänglich abgelehnt. Während der Leistung zeigt der diastolische Druck nach Emery (1956) und Reindell und Mitarbeiter (1955) einen mehr oder weniger großen Anstieg, nach Rutenfranz, Hellbrügge und Keilhacker (1961) mit zunehmender Arbeitsschwere im Mittel einen linearen Abfall. In der Erholungsphase fällt der diastolische Druck meist sehr stark ab, ehe er allmählich zu dem Ausgangswert zurückkehrt. (Anschütz und Drube 1954, Emery 1956, Fraser und Chapman 1954, Henschel und Mitarbeiter 1954, Korner 1952, Metzner 1960, Reindell und Mitarbeiter 1955). Parade und Ohr (1943) haben dagegen nur geringfügige Veränderungen des diastolischen Blutdrucks, die sich gleich häufig nach oben und unten bewegten, gefunden. Als Bestimmungskriterium haben sie jedoch das untere "Tonmaximum", also den Beginn der dritten Phase der Tonänderung (s. Literaturteil B I b 3), festgehalten.

Zeitweilig kann der diastolische Druck sogar "0" sein (Henschel und Mitarbeiter 1954, Krestownikow 1953, Parade und Ohr 1943, Schellong und Lüderitz 1954). Anschütz und Drube (1954) und Henschel und Mitarbeiter (1954) fanden durch Simultanmessungen, daß diese Werte von den direkt ermittelten wesentlich abweichen. Nach diesen Forschern entsteht der "0"-Wert fälschlich durch die Meßmethode, da andere Kreislauffunktionen außer den tatsächlichen Blutdruckänderungen in die Messung mit eingehen. Als Ursache dafür nennen Anschütz und Drube (1954) zunächst die stärkere Beschleunigung der Blutgeschwindigkeit und Parade und Ohr (1943) die beschleunigte und verstärkte Pulswelle, die

Strömungsgeräusche hervorruft. Schellong und Lüderitz begründen die starke Erniedrigung des diastolischen Druckes auf "0" mit einer abnormen peripheren Gefäßerweiterung. Sie schränken aber sofort ein, daß nicht jedes Absinken des diastolischen Druckes Ausdruck einer Störung der Regulation zu sein braucht, da die gleiche Erscheinung bei geübten Sportlern, wenn auch selten in diesem Umfang, auftritt. Krestownikow (1953) beobachtete, daß der "endlose" Ton bei intensiver und verhältnismäßig langandauernder Beanspruchung öfter auftritt. An Hand von Funktionsprüfungen an sehr guten und bewährten Alpinisten erklärt er das Entstehen des "endlosen Tones" im wesentlichen aus der Aktion des Herzens und in geringem Maße aus der Aktion der Gefäße und hält das Auftreten des "endlosen Tones" nach starker körperlicher Beanspruchung für eine physiologische Erscheinung. Dagegen ist nach seiner Meinung das Auftreten des "endlosen Tones" nach geringer Muskelanspannung und in Ruhe Ursache einer pathologisch gesteigerten Herztätigkeit, einer Insuffizienz der Aortenklappen oder einer wesentlichen Erweiterung der peripheren Gefäße, die eine Beschleunigung des Blutstromes in den Arterien und eine akute Senkung des arteriellen Tonus hervorruft.

III. d. Das Verhalten der arteriellen Blutdruckamplitude vor, während und nach einer körperlichen Leistung bei Trainierten, Untrainierten und Hypertonikern

Eine wesentliche Verkleinerung der Blutdruckamplitude in Ruhe beim Trainierten ergibt sich zwangsläufig aus der Erniedrigung des systolischen und der Erhöhung des diastolischen Blutdrucks gegenüber den Werten von Normalpersonen. Sie ist als Ausdruck ökonomischer Kreislaufverhältnisse aufzufassen. Die Entwicklung erfolgt umgekehrt proportional zu Maß und Dauer des Trainings (Mellerowicz 1956).

Die Anpassungsfähigkeit und Ökonomisierung des Kreislaufs durch Training wird besonders deutlich durch das Verhalten der arteriellen Blutdruckamplitude während der Leistung. Hollmann (1959) fand eine extreme Erweiterung der Amplitude bei Trainierten in Beanspruchungsbereichen, die dem Untrainierten gar nicht zugänglich sind. Sie resultieren vorwiegend aus einer starken Erhöhung des systolischen Drukkes bis zu 250 mmHg.

C. Methodik

I. Untersuchungsmaterial

a. Untersuchungsgut

Für die spezielle Fragestellung dieser Arbeit wurden folgende drei Untersuchungsgruppen herangezogen:

1. Hochtrainierte Dauersportler
2. Studenten
3. Jugendliche mit einer hypertonen Regulation. +)

Nach Wettkampfleistungen, Dauer, Häufigkeit, Härte und Art des Trainings wurden 7 der besten Berliner Dauersportler in der ersten Gruppe für diese Funktionsprüfungen ausgewählt. Es waren 6 Langstreckenläufer und ein Radrennfahrer. Sie haben mindestens 4 Jahre und bis zu 20 Jahren wenigstens 2 x wöchentlich 1 - 2 Stunden ein "Maximaltraining" absolviert. Es waren Amateure, die den Sport neben ihrer beruflichen Tätigkeit betrieben. Die Studenten der zweiten Gruppe waren untrainiert. Die Jugendlichen mit hypertoner Regulation sind bei Untersuchungen in der Berliner Sportärztlichen Hauptberatungsstelle oder in den Bezirksberatungsstellen ermittelt worden. Sie suchten diese wegen Herz- oder Kreislaufbeschwerden bei Sportausübung auf oder wurden bei den obigaten Untersuchungen in den Sportvereinen als "Hypertoniker" festgestellt. Für diese Gruppe wurden nur solche Versuchspersonen berücksichtigt, deren systolischer Ruhewert mindestens 200 mmHg betrug. Die sportliche Betätigung - es handelte sich vorwiegend um Mannschaftssport - war ihnen nach dem Befund teilweise oder völlig untersagt worden.

Das Alter der Dauersportler lag zwischen dem 21. und 45. Lebensjahr, das der untrainierten Studenten zwischen dem 21. und 25. und das der Hypertoniker zwischen dem 17. und 18. Lebensjahr.

Alle Untersuchungspersonen lebten seit mehr als drei Jahren unter annähernd gleichen Bedingungen des Berliner Großstadtmilieus, jedoch in verschiedenen sozialen Verhältnissen.

I. b. Untersuchungsbedingungen

Die Untersuchungen wurden während der Monate April - September, vorwiegend vormittags zwischen 9 und 13 Uhr und zwar nach minimal 20 Minuten horizontaler Ruhelage, die auch während der Untersuchung beibehalten wurde, durchgeführt. Die Lufttemperatur im Untersuchungsraum betrug minimal 19 Grad bis maximal 24 Grad. Die Probanden hatten zum Frühstück nur geringe Mengen Nahrung eingenommen.

+) Im klinischen Sprachgebrauch wird mit dem Begriff "Hypertone Regulation" das Verhalten des Blutdrucks eines Menschen bezeichnet, das nicht mehr innerhalb der physiologischen Variationsbreite liegt.

Im Untersuchungsraum befanden sich während des Versuches:
Die Versuchsperson,
zwei Untersucher und
eine Hilfskraft.

Jede Entstehung und Verursachung von Geräuschen und jede Aufregung des Probanden vor und während der Untersuchung wurde vermieden. Die Versuchsperson wurde über den Verlauf der Untersuchung eingehend unterrichtet und in einem Vorversuch mit der Untersuchungstechnik vertraut gemacht.

I. c. Untersuchungsgeräte

Der Blutdruck wurde am linken Arm nach der auskultatorischen Methode von Korotkoff mit einem vor Beginn der Versuchsreihe geeichten, allgemein üblichen Quecksilber-Sphygmomanometer gemessen.

Für die graphische Simultanregistrierung am rechten Arm verwendeten wir das Infratonverfahren nach Boucke-Brecht (1952) Abb. 1. Die Arteriengeräusche werden hierbei mit einem hochempfindlichen Kondensatormikrophon abgenommen. Dieses Tiefenmikrophon ist in Form einer Pelotte konstruiert und ist 8 x 2 x 0,3 cm groß. Die Kapazität beträgt 40 000 pF. Die Kompression des Kondensators um 1 m ändert die Spannung um 1 mV. Die Frequenzkurve ist von 0,3 - 150 Hz weitgehend linear. Die Eigenresonanz liegt bei 500 Hz. Weiterhin enthält die Geräuschabnahmeapparatur einen Gitterableitewiderstand der Eingangsröhre und einen Kupplungskondensator zur Trennung der Gleichspannung des Vorsatzgerätes KE 2 von der Wechselspannung des Verstärkers.

Die Zuordnung der Arteriengeräusche zum Manschettendruck erfolgt mit dem "Infraton"-Druckmarkengeber FBR 2 nach Boucke-Brecht. Die Apparatur beruht auf dem Prinzip, elektrische Impulse durch bestimmte Druckwerte aus dem Durchgang des Manschettendrucks auszulösen, welche bei gleichmäßigem Abfall oder Anstieg des Druckes eine regelrechte Skala in Längsrichtung des Registrierpapiers zeichnen. Zu diesem Zweck sind in dem Steigrohr des Quecksilbermanometers Platinkontakte eingeschmolzen. Der niedrigste Kontakt befindet sich bei 30 mmHg, dann folgen bis zum Wert von 130 mmHg alle 10 mmHg weitere Kontakte und von da aus in Abständen zu 20 mmHg. Die Ausschläge sind zur einfachen und sicheren Beurteilung der Druckmarken in ihrer Größe abgestuft.

An den Druckluftweg ist außer der Handpumpe eine Automatik zur Linearisierung des Druckabfalls angeschlossen. Die apparativ bedingte Meßgenauigkeit dieses FBR 2 Gerätes, d. h. die Genauigkeit der Kontakteinschmelzung, beträgt ca. $\pm$ 1,5 mmHg.

Die Korotkoff'schen Geräusche und die Druckmarken wurden mit einem fünffach schreibenden Multi-Elektrokardiographen Typ 9 900 der Firma Hellige, Freiburg, verstärkt und registriert. Der Frequenzverlauf des Verstärkers einschließlich der Oscillographenschleife dieses Gerätes verläuft von 0 - 500 Hz waagerecht. 1 000 Hz werden noch mit 30 % der ursprünglichen Amplitude wiedergegeben. Die Zeitkonstante des Verstärkers ist mindestens 1,5 sec. Die Laufgeschwindigkeit des Registrierpapiers betrug 10 mm/sec.

Abb. 1 Anordnung der Versuchsgeräte: (von links nach rechts) FBR 2 Gerät, Kathodenstrahloscillograph, KE 2 Gerät, Pulsabnehmer, Druckmanschette, Druckpumpe mit Manometer, EKG Gerät Hellige 9900, Erkameter, Phonendoskop, Ergometer nach Lauckner. (Für die Untersuchungen wurde jedoch ein Wirbelstromergometer Typ 171 der Fa. Dargatz benutzt.)

Der Kompressionsdruck wurde an den Oberarmen bei beiden Registriermethoden mit Hilfe der 13 cm breiten v. Recklinghausen'schen Manschette ausgeübt. Auf einem zwischengeschalteten Kathodenstrahloscillographen wurden die Arteriengeräusche und die Druckmarken zur laufenden Kontrolle sichtbar gemacht.

Die geforderte Leistung absolvierten die Probanden im Liegen an einem Wirbelstromergometer Typ 171 der Firma Dargatz. Zu diesem Zweck wurde statt der Handkurbel ein Fahrradpedal an die Ergometerachse montiert. Als Liege verwendeten wir einen gepolsterten Untersuchungstisch, an dessen Kopfseite eine verstellbare Schulterstütze angebracht worden war.

Die Untersucher benutzten zur Zeitnahme zwei geeichte Stoppuhren. Für den Probanden war zur zeitlichen Orientierung eine Ergometeruhr sichtbar angebracht.

I. d. Auswertung der graphisch aufgezeichneten arteriellen Blutdruckmessungen (Abb. 2)

Die graphisch aufgezeichneten Blutdruckmessungen nach dem Verfahren von Boucke-Brecht zeigen von links nach rechts bei einem übersystolischen Manschettendruck bei feiner Ekg-Amplitudeneinstellung zunächst einen mit unrhythmischen und geringen Ausschlägen geradlinig verlaufenden Registrierstrich, bei großer Amplitudeneinstellung eine in Form von kurzen Ausschlägen unrhythmische nicht mehr so geradlinig verlaufende Linie. Wird der Manschettendruck so weit gemindert bis er dem intraarteriellen Druck des Blutes entspricht, so erscheint mit dem ersten Kollaps und Dekollaps der Arterie zunächst eine kleine, aber deutlich erkennbare Zacke auf der Registrierlinie. Sie ist das Kriterium für den systolischen Blutdruck. Im Laufe der Drucksenkung werden die Oscillationen im Rhythmus der Herzschläge immer größer, bleiben eine Zeit auf gleicher Größe, bis sie sich wieder verkleinern. Die Ausschläge werden aber niemals ganz verschwinden, sondern von einer bestimmten Druckhöhe an gleichgroß bis zu dem Druck von 0 mmHg bleiben. An der Umschlagstelle zu den gleichgroßen Ausschlägen liegt das Kriterium für den diastolischen Blutdruck.

Beide Werte können exakt den parallel dazu eingeblendeten Druckmarken zugeordnet und bestimmt werden.

II. Untersuchungsmethodik

a. Beschreibung der Bestimmungsmethoden

Den arteriellen Druck bestimmte nach der Methode von Korotkoff eine auf dem Gebiet der auskultatorischen Blutdruckmessung erfahrene medizinisch-technische Assistentin an dem supinierten und dem Körper anliegenden linken Arm (vgl. Abb. 3). Die Kompressionsmanschette umschloß drucklos aber dicht anliegend die Weichteile des Oberarms. Den Kompressionsdruck pumpte die MTA zu jeder Messung mindestens bis auf 200 mmHg auf und minderte ihn weitestgehend linear ca. 10 mm/2,5 sec. Die Korotkoff'schen Geräusche wurden mit einem Stahlbügel-Schlauch-Phonendoskop (ohne Membran am Höhrtrichter) in der Regio

Obere Linie: Druckmarken von links nach rechts 190 mmHg; 170 mmHg; 150 mmHg; 130 mmHg; von 120 mmHg bis 30 mmHg alle 10 mmHg jeweils 1 Druckmarke. Die langen Druckmarken kennzeichnen die ungeraden Zahlen, die kurzen die geraden Zahlen.

Untere Linie: Oscillation der Arterientöne.
Systolischer Druck von links nach rechts: 1. Ausschlag = 130 mmHg, diastolischer Druck von links nach rechts: letzte Oscillation vor erster gleich groß bleibender Oscillation = 75 mmHg.

Abb. 2 Registrierte Blutdruckkurve nach dem Infraton-Verfahren von Boucke-Brecht. (Versuchsperson We.; Messung in der 1. Erholungsminute nach 100 W/6 Minuten : Blutdruck : 130 : 75)

cubitalis über der Arteria cubitalis - unmittelbar neben der radialen Kontur des Musculus pronator teres - auskultiert. Der Hörtrichter wurde nur mit einem ganz leichten Druck auf die Auskultationsstelle gesetzt, um keine Kompressionsgeräusche unter dem Stethoskop hervorzurufen. Mit dem Auftreten des ersten charakteristischen Korotkoff'schen Geräusches wurde der systolische Druck bestimmt, während der diastolische Druck mit dem Verschwinden des letzten leisen Tones abgelesen wurde. Das Auftreten und Verschwinden der Geräusche bei fallendem Manschettendruck wurde zweckmäßig in der Skala immer nur dem nächstliegenden Summationswert von 5 und 10 mmHg zugeordnet. Die Eintragung der Meßwerte erfolgte sofort auf einem vorbereiteten Untersuchungsblatt.

Am rechten Arm registrierten wir den arteriellen Druck nach dem instrumentell-auskultatorischen Verfahren von Boucke-Brecht graphisch (Abb. 3). Mittels Infraton-Tieftonmikrophon wurden die Korotkoff'schen Geräusche abgenommen. Zu diesem Zweck wurde der Arm von der Körperlängsachse um 90 Grad abduziert, in Supinationsstellung gebracht und auf einer gepolsterten "Kramer-Schiene" ruhiggestellt. Die Befestigung erfolgte mit einem 20 cm breiten Gummiband am Schultergelenk und einem 3 cm schmalen Gummiband distal vom Handgelenk über dem Handballen, so daß kein venöser Rückstau entstand. Das Mikrophon wurde unter Verwendung einer sogenannten Andruckplatte mit der Seite des Pulsfühlers auf eine tastbare Stelle der in der Tiefe pulsierenden Arteria cubitalis angelegt. Durch die Befestigungsplatte liegt die Befestigungsbinde nicht überall gleich fest auf der Hautoberfläche, so daß ein Teil der Hautvenen für den venösen Rückstrom freibleibt. Die Kompressionsmanschette befestigten wir wie für den anderen Arm beschrieben wurde.

Die aufgenommenen Arteriengeräusche wurden dem Anschaltgerät KE 2 zugeleitet und von diesem mit Hilfe eines Elektrokardiographen als spitze Zacken wiedergegeben. Über einen zweiten Ekg-Kanal sind aus dem FBR 2-Gerät die Druckmarken eingeblendet worden. Im Bild des parallelgeschalteten Sichtgerätes konnten wir die Lage des Pulsabnehmers und die Amplitudengrößen der Geräuschzacken an den Oscillationen beurteilen und danach die Geräte entsprechend einstellen und die Empfindlichkeit während des Versuches bei Verlagerung des Pulsabnehmers nachregulieren.

Auch bei diesem Verfahren pumpten wir den Druck in der Manschette mindestens bis auf 200 mmHg auf, während der Bedienungshahn des FBR 2-Gerätes auf "Pumpen" eingestellt war. Mit dem Umschalten des Hahnes auf "Registrieren" schaltete eine Hilfsperson den Elektrokardiographen ein. Bis zu einem Druck von 40 mmHg fiel der Manschettendruck automatisch weitestgehend linear ab. Zur weiteren linearen Druckminderung mußte das Luftaustrittsventil an der Handpumpe manuell bedient werden. Bei dem Manschettendruck Null wurde das Ekg-Gerät ausgeschaltet.

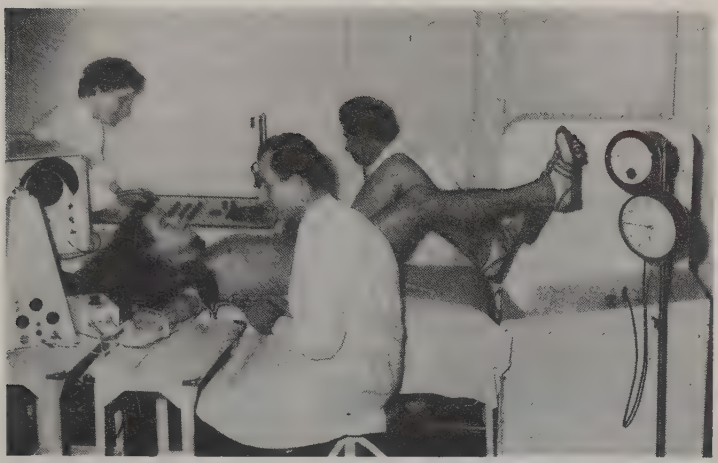

Abb. 3 Anordnung der Versuchsgeräte mit Versuchsperson und den Untersuchungspersonen.

II. b. Beschreibung der Versuche

Der Versuch begann mit dem Wägen des Probanden, einer kurzen Erhebung seiner Anamnese und einer Allgemeinuntersuchung. Nachdem die Untersuchungsperson mindestens 10 min auf der Liege ruhte, wurden ihr die Untersuchungsgeräte (Druckmanschetten, Mikrophon, Fixierungen) angelegt und der bewegungsgünstigste Abstand zum Ergometerpedal durch Verschieben der Liege eingestellt. Zunächst wiesen wir den Probanden in den Versuchsvorgang durch eingehende Erläuterung ein. Die Untersuchungsapparatur wurde eingestellt und reguliert und mehrfach überprüft. Nun konnte der Probeversuch mit nachfolgender Versuchsbelastung über 30 - 40 sec durchgeführt werden. Danach konnte sich die Versuchsperson abermals erholen.

Während der gesamten Vorbereitungszeit von 30 - 40 Minuten war es möglich, die Probanden von anfänglichen psychischen Erregungen und Belastungen frei zu machen, so daß die Voraussetzung, die geforderten Aufgaben ungezwungen und unbelastet auszuführen, erfüllt waren.

5 sec vor Beginn des Hauptversuches begannen wir die Druckmanschetten bis auf 200 mmHg aufzupumpen. Gleichzeitig begann die Versuchsperson mit dem Antreten des Ergometers. Während der Proband die geforderten Umdrehungen erreicht hatte, drückten wir auf ein Kommando die Stoppuhren ab, schalteten das Ekg-Gerät ein und bestimmten und registrierten wie beschrieben den arteriellen Druck. Nach ca. 50 sec war die erste Messung beendet und der Manschettendruck auf Null abgelassen. Nach weiteren 5 sec wurden die Druckmanschetten erneut aufgepumpt und mit Beginn der neuen Belastungsminute wiederholte sich der Meßvorgang. 5 sec vor Ende der letzten Arbeitsminute wurden die Druckmanschetten wieder aufgepumpt, so daß sofort mit dem Aufhören des Tretens am Ergometer der arterielle Blutdruck in bekannter Weise ermittelt wurde. Die Messungen wiederholten sich in den weiteren 5 Erholungsminuten. Nach der 6. Erholungsminute war der Versuch beendet.

Mit insgesamt 55 Untersuchungspersonen wurden diese Arbeitsversuche durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse von 30 Untersuchungspersonen konnten nicht ausgewertet werden, weil die elektrokardiographisch-infraton registrierten arteriellen Blutdruckmessungen, bedingt durch technische Mängel, nur ungenügend waren. Von den 25 Arbeitsversuchen, deren Ergebnisse für diese Arbeit verwertbar sind, wurden 17 Versuche in Abteilung I mit einer absoluten Leistung von 100 Watt und 8 Versuche in Abteilung II mit 2 Watt/kg Körpergewicht durchgeführt. Die Arbeitsversuche in Abteilung I verteilen sich auf

5 hochtrainierte Dauersportler,
7 absolut untrainierte Studenten und
5 Jugendliche mit hypertoner Regulation

in Abteilung II auf

2 Dauersportler und
6 absolut untrainierte Studenten.

III. Kritik an der Methode

a. Kritik am Untersuchungsgut

Die Zusammenstellung der Untersuchungsgruppen wurde nur nach dem Trainingszustand der Versuchspersonen vorgenommen. Nach anderen Gesichtspunkten konnten keine übereinstimmenden Voraussetzungen für den Vergleich der Gruppen geschaffen werden. Besonders die Altersunterschiede zwischen den Jugendlichen mit hypertoner Regulation und den Dauersportlern sind so groß, daß die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse beeinträchtigt wird. Die Altersdifferenzen ließen sich aber bei der Auswahl der Dauersportler nicht vermeiden, da die Anzahl der hochtrainierten Berliner Langstreckenläufer, auf die zurückgegriffen werden konnte und die hinsichtlich des Trainingsmaßes und der Wettkampfleistung nicht allzusehr voneinander abwichen, klein ist. Eine Vergrößerung des Untersuchungsgutes, die besonders der statistischen Beweisführung wegen erforderlich wäre, scheiterte an dem technischen und zeitlichen Aufwand der Versuchsanordnung und -durchführung und an der Beschaffung der Versuchspersonen.

Wie die Ruhewerte der Jugendlichen mit hypertoner Regulation zeigen, ist bei ihnen die Hypertonie nicht sonderlich ausgeprägt. Es handelt sich hier zweifellos vielmehr um Jugendliche mit hypertoner Regulation, deren arterielle Blutdruckwerte aber bei den Routineuntersuchungen mindestens 200 mmHg betrugen. Sie gaben in einer zwanglosen Unterhaltung auch zu, daß sie schon beim Betreten des Untersuchungszimmers und bei dem Kontakt mit dem Arzt sehr aufgeregt waren und teilweise sogar Herzklopfen hatten. (Auf die Beeinflussung durch psychische Erregungen wurde im Literaturteil bereits hingewiesen.)

Die Zusammensetzung der Gruppe "Dauersportler" aus 4 Langstreckenläufern und einem Radrennfahrer begünstigt den letzteren, da er speziell auf das Fahrradkurbeltreten trainiert ist. Er bestätigte nach dem Versuch, daß ihn die 6 Minuten-Belastung mit 100 Watt kaum angestrengt habe, wie es die Ergebnisse auch deutlich veranschaulichen.

III. b. Kritik an den Untersuchungsgeräten

Nimmt man auf Grund der Ergebnisse aus den Veröffentlichungen in der Literatur über die arteriellen Blutdruckseitendifferenzen an, daß bei dem vorliegenden Untersuchungsgut die Rechts- und Linksunterschiede unberücksichtigt bleiben können, dann sind Meßfehler, die durch die nicht absolut synchrone Bestimmung des arteriellen Blutdrucks und besonders durch die Verschiedenheit der Methoden auftreten, nicht auszuschließen.

Die Meßfehler entstehen bei der auskultatorischen Blutdruckbestimmung nach Korotkoff:

1. durch Beeinflussung des arteriellen Blutdrucks selbst durch psychisches, reflektorisches und mechanisches Geschehen,
2. durch falsche Handhabung der Geräte bei der Messung; z. B. zu lockeres oder zu festes Anlegen der Manschette, ungleichmäßige Änderung des Manschettendrucks und ungleichmäßiges Aufsetzen des Stethoskopes und

3. durch Meßfehler bei der Feststellung der Korotkoff'schen Geräusche und ihrer Zuordnung zum Manschettendruck.

Bei der graphischen Blutdruckbestimmung mittels Infraton-System nach Boucke-Brecht lassen sich die Fehlerquellen der zweiten und dritten Gruppe weitestgehend vermeiden. Eine fehlerfreie Beurteilung der Untersuchungsergebnisse kann aber wegen der unvollkommenen technischen Beschaffenheit der Apparatur auch hier nicht erfolgen. Mit Hilfe des Tiefton-Pulsabnehmers ist es nicht möglich, Korotkoff'sche Geräusche frequenz- und amplitudengetreu wiederzugeben, auch wenn es der Verstärker und das Registriersystem des Ekg-Apparates zulassen würden. Der Frequenzbereich des Mikrophons, mit 0,3 - 150 Hz linearen Frequenzverlauf und 500 Hz Eigenresonanz, liegt unter dem der Korotkoff'schen Geräusche, die nach Frequenzanalysen von Krethlow (1930) in Ruhe schon bis zu 450 Hz haben und bei einer Muskeltätigkeit noch höhere Werte erreichen. Weitere Fehlermöglichkeiten entstehen bei der Auswertung der Blutdruckkurven aus den Größenänderungen der Oscillationen, vorwiegend bei der Bestimmung des diastolischen Blutdrucks. Seine Genauigkeit ist dabei abhängig vom Verhältnis der Druckerniedrigung zur Pulsfrequenz und vom Grad der Größenänderungen der Oscillationen. Der Übergang der Größenänderung erfolgt nämlich nicht immer sehr deutlich und bereitet oftmals Schwierigkeiten. Trotzdem wird dieser Fehler immer noch geringer sein als der des dritten Punktes (s. o.) bei der auskultatorischen Methode.

IV. Statistische Beurteilung der Ergebnisse

Bei der statistischen Auswertung des Untersuchungsgutes wurden die Mittelwerte der einzelnen Vergleichsreihen berechnet nach der Formel:

$$M = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_n}{n}$$

Die mittlere Abweichung vom Durchschnittswert x beträgt:

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\frac{(M - x_1)^2 + (M - x_2)^2 + \dots (M - x_n)^2}{n}}$$

Mittlerer Fehler des Mittelwertes:

$$\sigma_M = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Die Differenzen der Vergleichsreihen wurden geprüft nach der Gleichung:

$$\sigma_{\text{Diff.}} = \sqrt{\sigma_{M_1}^2 + \sigma_{M_2}^2}$$

Ein statistisch gesicherter Unterschied liegt dann vor, wenn die Differenzen der Mittelwerte zweier Vergleichsreihen größer sind als 3 Diff. Er ist damit mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,27 % statistisch gesichert.

D. Beschreibung der Ergebnisse

I. Beschreibung der absoluten Ergebnisse der Abteilung I

a. Darstellung der ermittelten Ergebnisse nach der Korotkoff'schen Methode

Die absoluten systolischen und diastolischen Blutdruckwerte, bestimmt nach der auskultatorischen Methode, in Ruhe und bei einer Leistung von 100 Watt in 6 Minuten und einer Erholungszeit von 6 min bei Trainierten, Untrainierten und jugendlichen "Hypertonikern" zeigt die Abb. 4.

Die Ruhewerte des systolischen Blutdrucks unserer hochtrainierten Dauersportler liegen um 10 mmHg höher als die von Mellerowicz gefundenen Durchschnittswerte.

Der absolute Mittelwert der untrainierten Studenten mit 125 mmHg entspricht den bisher in den Statistiken angegebenen Ergebnissen.

Wie nach der Aufgabenstellung dieser Arbeit gefordert, wurden nur Jugendliche mit hypertoner Regulation herangezogen, deren systolischer Ruhewert in vorangegangenen Untersuchungen mindestens 200 mmHg betrug. Unter den gegebenen Ruhebedingungen bei unserer Versuchsmethode erniedrigte sich der systolische Blutdruckwert bei allen Probanden dieser Gruppe überraschend stark auf durchschnittlich 145 mmHg.

Während der Arbeit steigt bei den Vergleichsgruppen der systolische Druck an, die Kurven nehmen bei den drei Vergleichsgruppen einen annähernd bogenförmigen Verlauf mit dem steilsten Abschnitt nach Beginn der Arbeit. Nach der 5. Messung, also nach 4 1/2 Arbeitsminuten, erreichen sie bei den Dauersportlern und "Hypertonikern" bereits den Höchstwert mit 155 mmHg und 195 mmHg.

Bei den untrainierten Studenten war der höchste systolische Durchschnittswert mit 180 mmHg in der letzten Arbeitsminute gemessen worden.

In der Erholungsphase verlaufen die Druckabfallkurven beinahe parallel zueinander. Sie fallen unmittelbar nach der Arbeit am steilsten ab und erreichen bei den Dauersportlern mit der 3. Messung schon den Durchschnittsruhewert. Bei den anderen beiden Vergleichsgruppen wird der Ruhewert zu diesem Zeitpunkt nur um 5 mmHg verfehlt.

Nach bisher bekannten Ergebnissen wurde überwiegend in Ruhe eine Erhöhung des diastolischen Drucks bei Trainierten gegenüber Untrainierten gefunden. Unsere diastolischen Mittelwerte der Trainierten liegen aber umgekehrt um 5 mmHg niedriger als die der Untrainierten. Weitere 5 mmHg niedriger liegen die der "Hypertoniker".

Während der Arbeit steigt der diastolische Druck bei unseren Dauersportlern in der 1. Minute um 10 mmHg, bei den Studenten in der 1. und 2. Minute jeweils um 5 mmHg an und bleibt dann, bis auf geringe

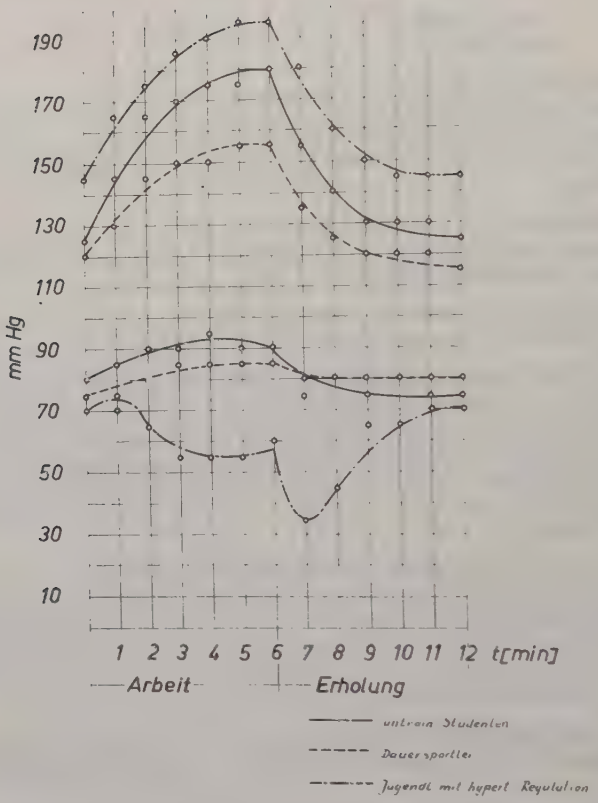

Abb. 4 Verhalten des systolischen und des diastolischen Blutdrucks (Riva-Rocci-Korotkoff)

Schwankungen, bei beiden Gruppen bis zur letzten Arbeitsminute auf diesem Niveau erhöht.

Bei den "Hypertonikern" steigt die Mittelwertkurve zunächst auch um 5 mmHg an - dann aber fällt sie schon zur 3. Minute 15 mmHg bis unter den Ruhewert ab und bleibt bis zur 6. Arbeitsminute auf dieser Tiefe. Dieser Kurvenverlauf entsteht aus dem unterschiedlichen Verhalten der Einzelkurven der Jugendlichen mit hypertoner Regulation, die sehr stark voneinander abweichen. In einem Falle waren schon während der Arbeit in der 3. Minute die Korotkoff'schen Geräusche noch bei einem Manschettendruck von 0 mmHg, in einem 2. Falle von 20 mmHg, zu hören.

Bei den Dauersportlern und Studenten senkt sich der diastolische Druck sofort in der 1. Erholungsminute bis nahe zum Ruhewert. Bei den Dauersportlern fällt er um 5 mmHg und bleibt dann auf dieser Höhe bis zur letzten Messung. Bei den Studenten erniedrigt er sich um 15 mmHg und pendelt dann um jeweils 5 mmHg um diesen Wert. In der ersten Erholungsminute ist bei drei "Hypertonikern" bereits das Arteriengeräusch noch bei 0 mmHg Manschettendruck zu hören, so daß die Mittelwertkurve in dieser Minute bis auf 35 mmHg abfällt. Danach steigt die Mittelwertkurve bis zur 3. Erholungsminute wieder steil an und erreicht in der 5. Minute den Ruhewert.

Die Blutdruckamplituden der Vergleichsgruppen zeigen deutlich ein unterschiedliches Verhalten, siehe Abb. 5. Der Ruhemittelwert der Dauersportler beträgt 43 mmHg. Damit liegt er aber um 11 mmHg höher als der von Mellerowicz gefundene Wert. Der Amplitudenmittelwert unserer untrainierten Studenten von 46,5 mmHg entspricht den bisher statistisch ermittelten Werten anderer Vergleichsgruppen dieser Altersklasse. Bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation haben wir eine Durchschnittsamplitudenhöhe von 75 mmHg festgestellt.

Während der ersten Arbeitsminute vergrößert sich die Amplitude bei den Dauersportlern nur gering um 3 mmHg. In der 2. Arbeitsminute erfolgt der Anstieg etwas steiler, um sich im weiteren Verlauf der Arbeitsphase aber nur noch um 5 mmHg zu vergrößern. Bei den untrainierten Studenten nimmt dagegen die Amplitudenvergrößerung einen stetig ansteigenden Verlauf - am Anfang stärker als am Ende. Die Blutdruckamplitude steigt bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation bis zur 3. Arbeitsminute stark an (bis 130 mmHg); bis zur 6. Arbeitsminute nur noch gering (bis 135 mmHg).

In der Erholungsphase hat die Blutdruckamplitude der Dauersportler in der 2. Minute fast den Ruhewert erreicht und fällt bis zur 6. Minute sogar noch unter diesen ab. Etwas langsamer erfolgt der Rückgang bei den untrainierten Studenten. In der 1. und 2. Minute ist er am deutlichsten, erreicht aber den Ausgangswert auch bis zum Ende der Meßperiode nicht ganz. Nachdem die Blutdruckamplitude bei den "Hypertonikern" in der 1. Ruheminute noch um weitere 8 mmHg ansteigt, erreicht sie jedoch bereits in der 5. Ruheminute - nach anfänglich steilem Abfall - ihren Ausgangswert. Sie unterschreitet diesen, wie bei den Dauersportlern, in der 6. Erholungsminute.

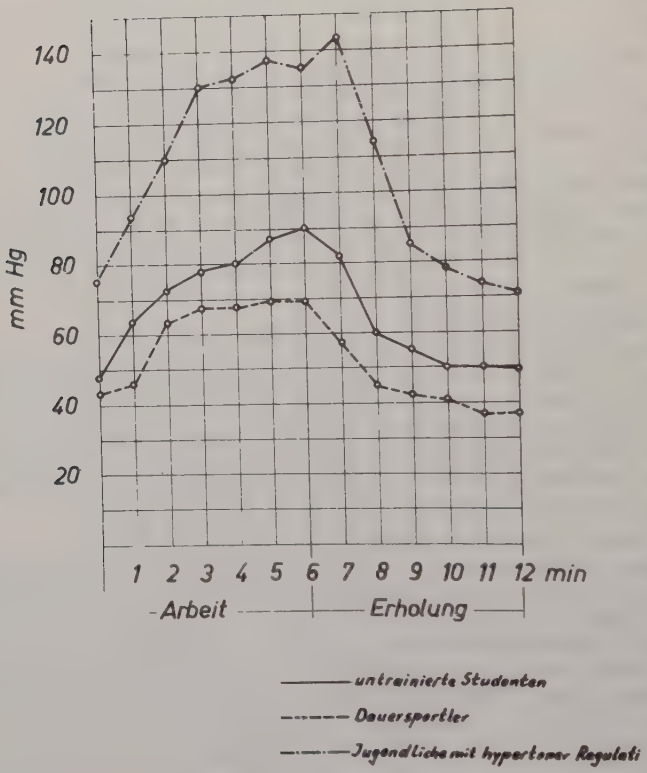

Abb. 5 Verhalten der Blutdruckamplitude (Riva-Rocci-Korotkoff)

IV. b. Darstellung der nach der Methode von Boucke-Brecht ermittelten Ergebnisse

Die Simultanergebnisse des 100 Watt Arbeitsversuchs nach der Infraton-Methode von Boucke-Brecht werden in Abb. 6 dargestellt.

In Ruhe haben wir für die Dauersportler einen systolischen Druckwert von 115 mmHg ermittelt, der den Vergleichswerten nach den Angaben von Mellerowicz entspricht. Der Mittelwert von 125 mmHg für die untrainierten Studenten entspricht den bisher in der Literatur angegebenen Ergebnissen für Normalpersonen dieser Altersklasse. Mit 135 mmHg liegt der systolische Druckwert der 3. Vergleichsgruppe auch für eine Hypertonie im klinischen Sinne sehr niedrig. Der Wert veranschaulicht deutlich, daß es sich bei diesem Untersuchungsgut um ausgesprochen vasolabile Repräsentanten mit Neigung zu hypertonen Regulationsverhältnissen handelt. In diesem Zusammenhang ist auf das Kapitel B II b zu verweisen. Vermutlich werden es besonders psychische Alterationen sein, die so extreme Schwankungen des arteriellen Drucks verursacht haben.

Während der Arbeit steigt bei allen drei Gruppen der systolische Druck in den beiden ersten Minuten am stärksten an. Bei den Dauersportlern erreicht er schon in der 2. Minute mit 145 mmHg einen bis zur 6. Arbeitsminute, hier erhöht er sich noch einmal um 5 mmHg, gleichbleibenden Wert. Die Jugendlichen mit hypertoner Regulation erreichen auch schon in der 3. Minute den höchsten systolischen Wert, während sich dieser bei den untrainierten Studenten von der 2. - 4. und von der 5. - 6. Minute noch weiter jede Minute um 5 mmHg erhöht.

In der Erholungsphase erfolgt der Druckabfall bei den Dauersportlern und Studenten in der 1. Minute am stärksten. Danach fällt er bei den Dauersportlern bis zur 6. Minute um weitere 15 mmHg nur sehr langsam ab und verfehlt um 5 mmHg den Ruhewert. Bei den Studenten hat der systolische Mittelwert schon seinen Ausgangwert in der 4. Minute erreicht, während er bei den Jugendlichen nach einem besonders steilen Abfall in der 2. Erholungsminute - im weiteren Verlauf in der 6. Erholungsminute - allmählich den Ausgangswert erlangt.

Der diastolische Blutdruck verhält sich nach den "infraton" bestimmten Ergebnissen wie bisher in der Literatur angegeben worden ist. Die Leistung von 100 Watt zeigt zunächst bei den Dauersportlern keinen Einfluß auf diesen Wert. Die Schwankungen von 5 mmHg um den Mittelwert können schon in Ruhe auftreten.

Dagegen wird deutlich veranschaulicht, wie der diastolische Druck bei den Studenten und "Hypertonikern" gleich in der 1. Arbeitsminute ansteigt und während der Arbeitsphase auch erhöht bleibt.

In der 1. Erholungsminute fällt er sofort ab; bei den Studenten 5 mmHg unter den Ausgangswert und bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation bis zum Ausgangswert. Im weiteren Verlauf zeigen beide Kurven nur noch geringe Schwankungen.

Das Verhalten der Druckamplitude nach dieser Meßmethode wird in Abb. 7 dargestellt.

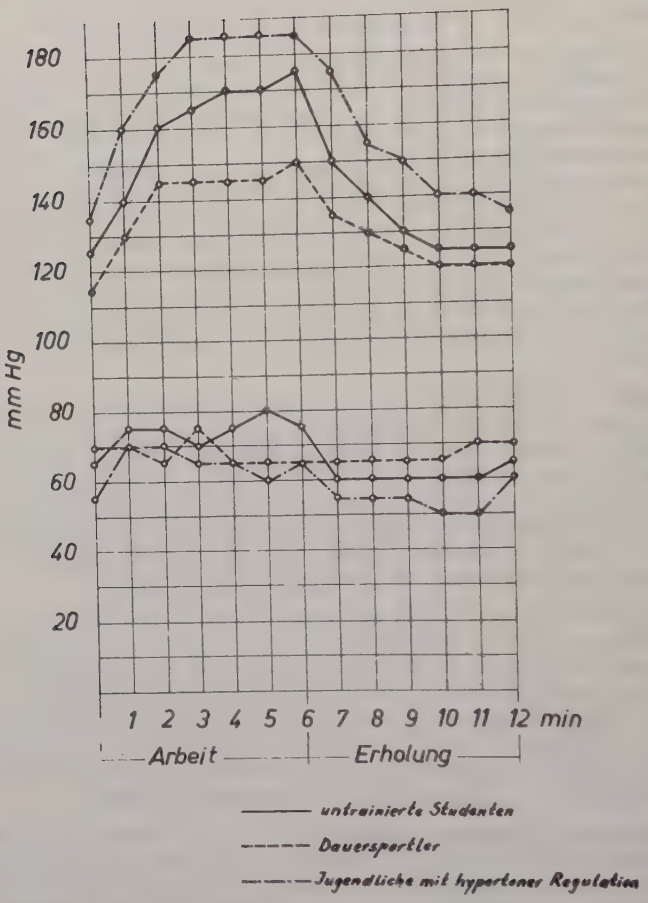

Abb. 6 Verhalten des systolischen und des diastolischen Blutdrucks (Boucke-Brecht)

Die Ruhemittelwerte betragen bei den Trainierten 46 mmHg und bei den Untrainierten 60 mmHg. Beide Werte sind etwas größer als die auskultatorisch ermittelten Werte für diese Gruppen. 81 mmHg beträgt der Amplitudenmittelwert der Jugendlichen mit hypertoner Regulation. Die dargestellten Kurven der Druckamplituden entsprechen in ihrem Verlauf während der Arbeits- und Erholungsphase den schon beschriebenen auskultatorisch bestimmten Amplituden-Kurven.

IV. c. Gegenüberstellung der jeweiligen Werte beider Methoden

Die oben nach der auskultatorischen Methode und nach der Kombinationsmethode nach Boucke-Brecht beschriebenen Untersuchungsergebnisse werden in den Abb. 8, 9, 10, 11 einander gegenübergestellt. Soweit es die technischen Möglichkeiten gestatteten, wurde der Blutdruck am linken Arm nach der Korotkoff'schen Methode und am rechten Arm nach der Boucke-Brecht-Methode gleichlaufend bestimmt. Da beide Untersucher zwangsläufig getrennt saßen und die Registriergeräte nicht gekoppelt waren, sind zeitliche Differenzen bei der Bestimmung nicht zu vermeiden gewesen. Bei einem größeren Untersuchungsgut könnte die Differenz ausgeglichen werden, während eine solche bei der kleinen Anzahl von Versuchspersonen unseres Untersuchungsgutes als Fehlerquelle berücksichtigt werden muß. Eine weitere Fehlerquelle liegt in der Auswertung der Ergebnisse, da die Mittelwerte jeweils dem nächstliegenden 5er oder 10er Wert zugerechnet wurden.

In Abb. 8 werden die Simultanergebnisse von den Dauersportlern in einem Ordinatensystem aufgezeigt. Die systolischen Ruhewerte differieren um 5 mmHg. Der Wert, nach der Korotkoff'schen Methode ermittelt, liegt über dem nach Boucke-Brecht. Während der Arbeitsphase entsprechen sich die Untersuchungsergebnisse von der ersten und 2. Minute. Von der 3. bis zur 6. Arbeitsminute liegen die Auskultationswerte 10 bzw. 5 mmHg über dem Kombinationswert. Um maximal 5 mmHg laufen die beiden Kurven in der Erholungsphase nebeneinander her. In der 4. und 5. Erholungsminute sind sie deckungsgleich.

Die diastolischen Werte korrespondieren weder in Ruhe noch während der Arbeits- und Erholungszeit. Eindeutig verläuft die diastolische Druckkurve nach Boucke-Brecht unter der nach Korotkoff. Der Abstand beträgt in Ruhe 5 mmHg, danach fast gleichbleibend 15 mmHg.

Daraus erklärt sich, daß die Blutdruckamplitude - Abb. 11 - im ganzen Versuchsverlauf nach der Auskultationsmethode etwas kleiner ist als nach der Infraton-Bestimmung.

Die Simultanergebnisse der untrainierten Studenten werden in Abb. 9 und 11 dargestellt. Die Kurvenverläufe entsprechen denen der ersten Gruppe.

Eine Verschiebung der Kurven erfolgt bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation, die durch Abb. 10 wiedergegeben wird. Während sich die systolischen Blutdruckkurven gleich denen der oben genannten Gruppen verhalten, verschieben sich jedoch die diastolischen Kurven. In Ruhe ist zwar der auskultierte diastolische Druck - wie bei den Vergleichsgruppen - größer als der ermittelte Druck nach der Infraton-Meßmethode; aber schon in der zweiten Arbeitsminute nähern sich die Druck-

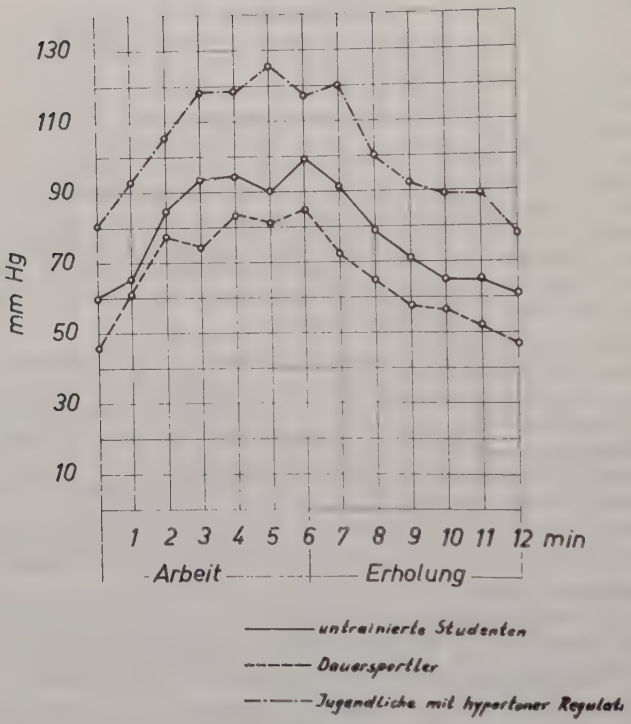

Abb. 7 Verhalten der Blutdruckamplitude (Boucke-Brecht)

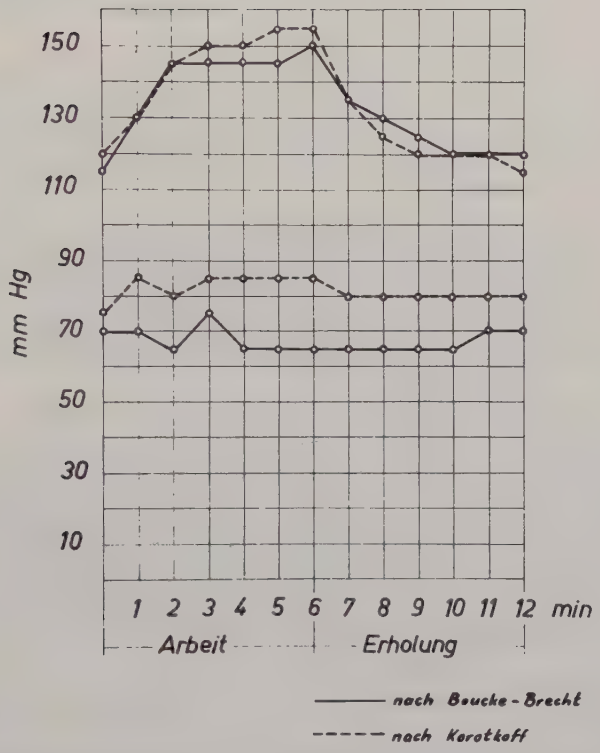

Abb. 8 Vergleichende Darstellung der Simultanergebnisse des systolischen und des diastolischen Blutdrucks der hochtrainierten Dauersportler

werte, um sich im weiteren Verlauf sogar entgegengesetzt zu verlagern. Diese Ergebnisse erklären sich aus dem Auftreten der "endlosen Arbeitstöne" in einem Falle und durch weitere starke Minderung des diastolischen Blutdrucks in einem zweiten Falle während der Arbeit. Das diastolische Blutdruckbestimmungskriterium nach der Infraton-Methode bleibt im Gegensatz zu dem Auskultationsphänomen bei einem höheren Manschettendruck erhalten. So ergibt sich diese Divergenz zunächst aus der Verlagerung des auskultatorischen Bestimmungskriteriums. Auf dieses Geschehen wird im Teil "Beurteilung" noch ausführlich eingegangen.

In der 1. Erholungsminute fallen beide Kurven steil ab. Dann aber steigt die Druckkurve nach Korotkoff ebenso steil in der zweiten Minute wieder an und überkreuzt in der 3. Minute die fast horizontal verlaufende Infraton-Kurve, die um den Ruhewert pendelt. Von der 4. Erholungsminute ab verlaufen die simultanbestimmten Kurven wieder wie die der Vergleichsgruppen.

Die Simultankurven der Druckamplituden (Abb. 11) der Jugendlichen mit hypertoner Regulation verlaufen am Ende der Arbeits- und am Anfang der Erholungsphase umgekehrt zueinander wie die der Vergleichsgruppen. Die infrationbestimmten Amplituden sind hier kleiner als die auskultierten Amplituden. Auch hier erklärt sich diese Divergenz aus der Verlagerung des auskultatorischen Bestimmungskriteriums.

II. Beschreibung der prozentualen Ergebnisse der Abteilung I

Im folgenden Abschnitt wird der durchschnittliche prozentuale Anstieg bzw. Abfall des arteriellen Drucks der Vergleichsgruppen zueinander in Beziehung gesetzt. Dadurch soll noch deutlicher das unterschiedliche Verhalten des arteriellen Drucks - bedingt durch Training, mangelnde sportliche Tätigkeit und hypertone Regulationsverhältnisse - herausgestellt werden. Außerdem ist es exakter, die körperliche Leistungsfähigkeit eines Menschen an Hand von Regulationsprüfungen aus der Relation zwischen Ruhe- und Leistungswerten zu bestimmen als nach den absoluten Werten zu beurteilen.

II. a. Darstellung der nach der Korotkoff'schen Methode ermittelten Ergebnisse

Abb. 12 stellt das prozentuale Verhalten des arteriellen Blutdrucks der drei Vergleichsgruppen nach der auskultatorischen Methode während der Arbeits- und Erholungsphase dar.

Der initiale Anstieg des systolischen Blutdrucks ist bei den Dauersportlern geringer als bei den beiden anderen Vergleichsgruppen. Bereits nach der 2. Druckmessung während der Arbeit, also nach ca. 1 1/2 Minuten, hat der initiale Anstieg bei allen drei Gruppen annähernd 2/3 des Gesamtanstieges erreicht. Im weiteren Verlauf steigt der systolische Druck bei den untrainierten Studenten um ca. 10 % mehr an als bei den Jugendlichen und bei diesen wieder um ca. 5 % mehr als bei den Dauersportlern.

Der initiale Abfall des systolischen Drucks der Erholungsphase erfolgt bei den Vergleichsgruppen etwas intensiver als der initiale Anstieg des

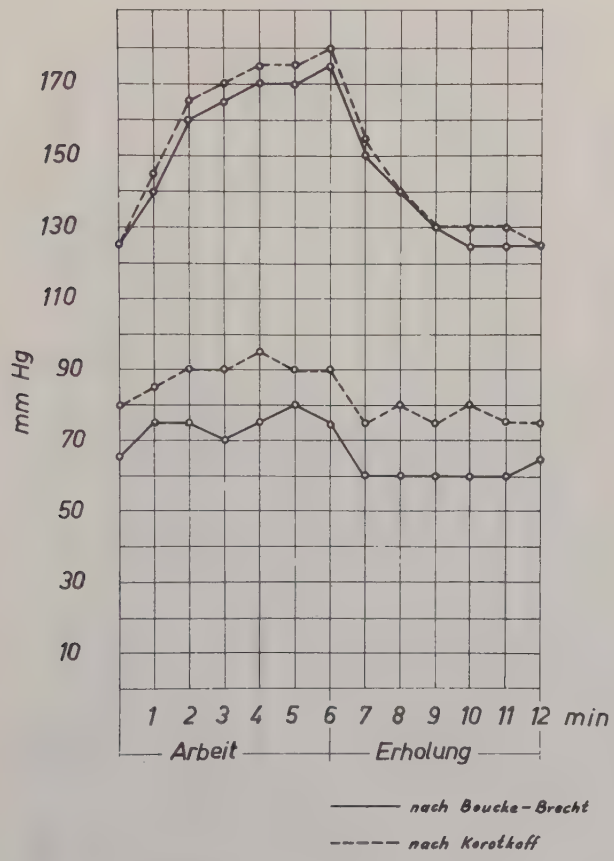

Abb. 9 Vergleichende Darstellung der Simultanergebnisse des systolischen und des diastolischen Blutdrucks der untrainierten Studenten

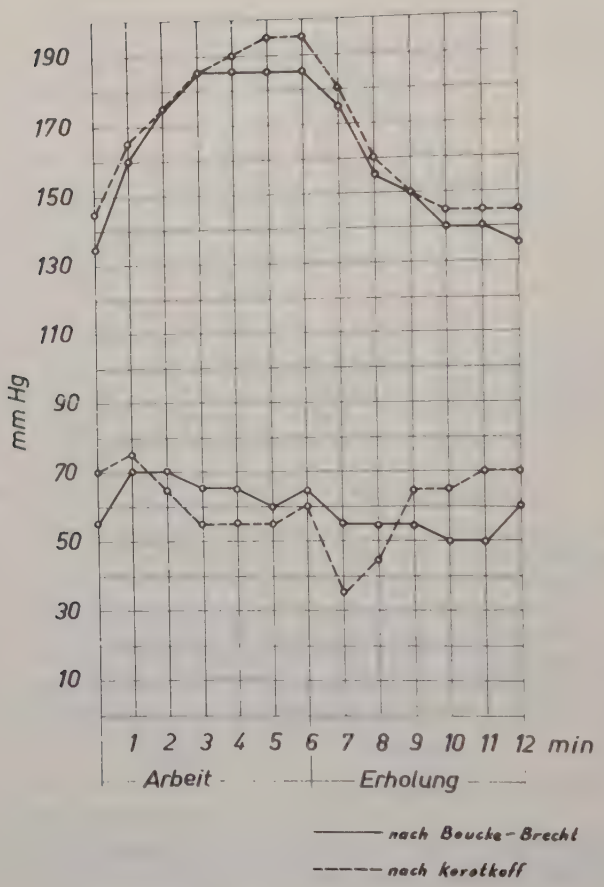

Abb. 10 Vergleichende Darstellung der Simultanergebnisse des systolischen und des diastolischen Blutdrucks der Jugendlichen mit hypertoner Regulation

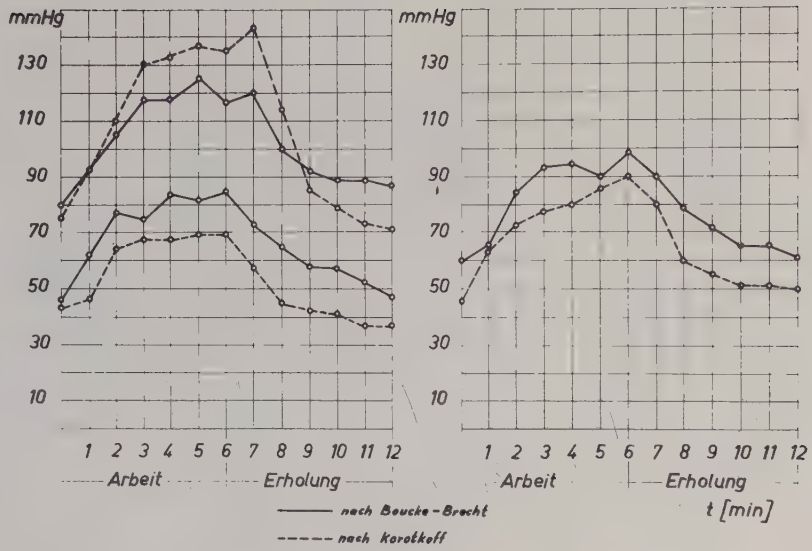

Abb. 11 Vergleichende Darstellung der Simultanergebnisse der Blutdruckamplitude
a) der hochtrainierten Dauersportler
b) der untrainierten Studenten
c) der Jugendlichen mit hypertoner Regulation

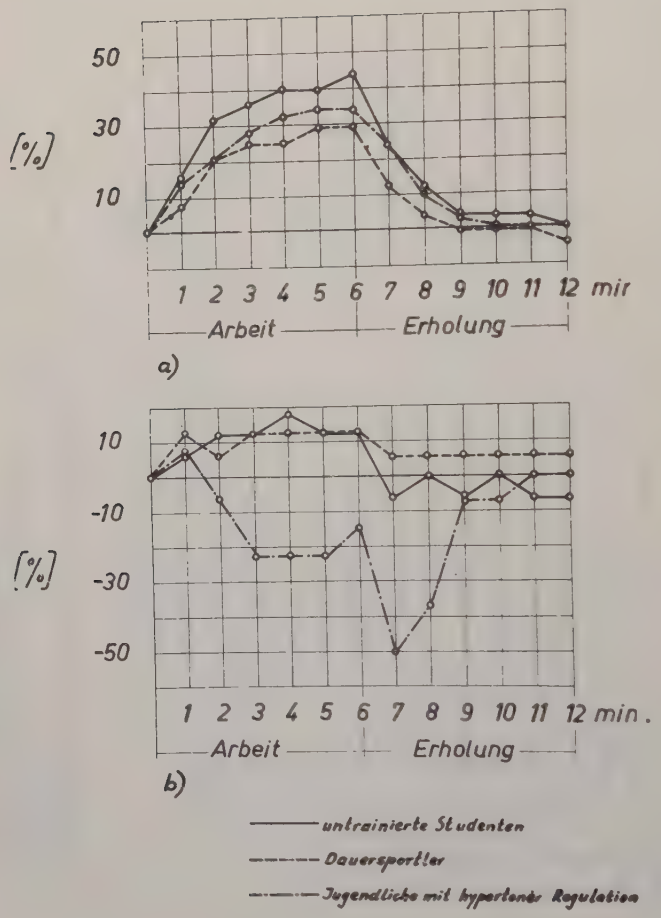

Abb. 12 Relatives Verhalten des systolischen (12 a) und des diastolischen (12 b) Blutdrucks (Riva-Rocci-Korotkoff)

systolischen Druckes der Arbeitsphase. Der Gesamtabfall erfolgt gleichfalls schneller als der Gesamtanstieg der entsprechenden Phase. Der Blutdruck der Dauersportler erreicht schon mit der 3. Messung, also nach ca. 3 1/2 min den Ruhewert. Nur wenig verzögert erfolgt dieser Rückgang bei den Vergleichsgruppen.

Die diastolische arterielle Druckkurve der drei Vergleichsgruppen entspricht - nach der Auskultationsmethode bestimmt - in ihrem Verhalten in der Leistungs- wie in der Erholungsphase ihrem absoluten Verlauf. Abb. 12b, 4.

Der prozentuale Anstieg der Blutdruckamplitude Abb. 13 der Dauersportler ist zur 1. Messung mit 7 % wesentlich geringer als der der Vergleichsgruppen mit 22,6 % und 36,8 % (Studenten und Jugendliche mit hypertoner Regulation). Während die Amplitudenwerte zur zweiten Messung bei den Vergleichsgruppen annähernd gleichgroß sind, sind sie im weiteren Verlauf der Arbeitsphase bei den Dauersportlern etwas geringer als bei den Studenten und Jugendlichen.

II. b. Darstellung der nach der Methode von Boucke-Brecht ermittelten Ergebnisse

Abb. 14 stellt das prozentuale Verhalten des arteriellen Blutdrucks der drei Vergleichsgruppen nach der Boucke-Brecht-Methode während der Arbeits- und der Erholungsphase dar.

Die graphische Darstellung des prozentualen Anstiegs bzw. Abfalls des systolischen Drucks der drei Vergleichsgruppen zeigt bis auf einen stärkeren initialen Anstieg bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation einen mit Abb. 12 vergleichbaren Verlauf.

Der diastolische Druck der Dauersportler zeigt entsprechend seinem absoluten Verhalten geringe prozentuale Schwankungen während der Arbeitsphase. Im Gegensatz dazu steigt er bei den Vergleichsgruppen zunächst initial an (Studenten 15,4 %, Jugendliche 27,4 %). Danach pendelt er bei den untrainierten Studenten im weiteren Verlauf um diesen Wert während er bei den Jugendlichen von der 2. Arbeitsminute eine treppenförmig abfallende Tendenz hat.

In der ersten Minute der Erholungsphase wird der Ruhewert bei den Dauersportlern und untrainierten Studenten um ca. 7 % unterschritten und erst in der 5. bzw. 6. Minute wieder erreicht. Die Jugendlichen mit hypertoner Regulation kommen zwar in der 1. - 3. Minute auf den Ruhewert. In der 4. und 5. Minute erfolgt ein Abfall um 9,1 %. In der 6. Minute wiederum übersteigt er den Ruhewert um 9,1 %.

Der prozentuale Anstieg der Druckamplitude, Abb. 15, der Dauersportler ist zur 1. Messung mit 34,8 % wesentlich größer als der der Vergleichsgruppen mit 10 % und 14,8 % (Studenten und Jugendliche). Auch im weiteren Verlauf haben die Dauersportler nach den infratonbestimmten Werten - umgekehrt zu den auskultatorischen Werten - einen größeren Anstieg der Druckamplitude als die Vergleichsgruppen.

In der Erholungsphase erfolgt ein mehr oder wenig paralleler prozentualer Abfall der Blutdruckamplituden. In der letzten Erholungsminute wird von den drei Vergleichsgruppen der Ruhewert nur wenig verfehlt.

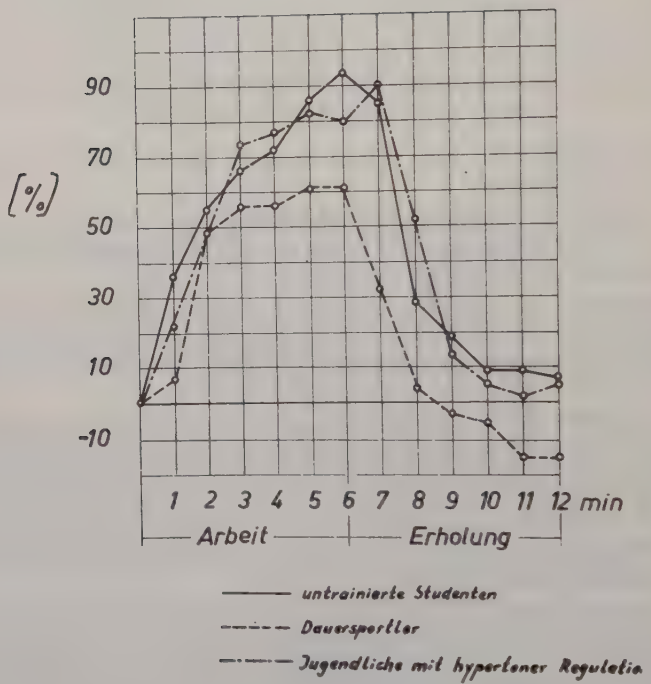

Abb. 13 Relatives Verhalten der Blutdruckamplitude (Riva-Rocci-Korotkoff)

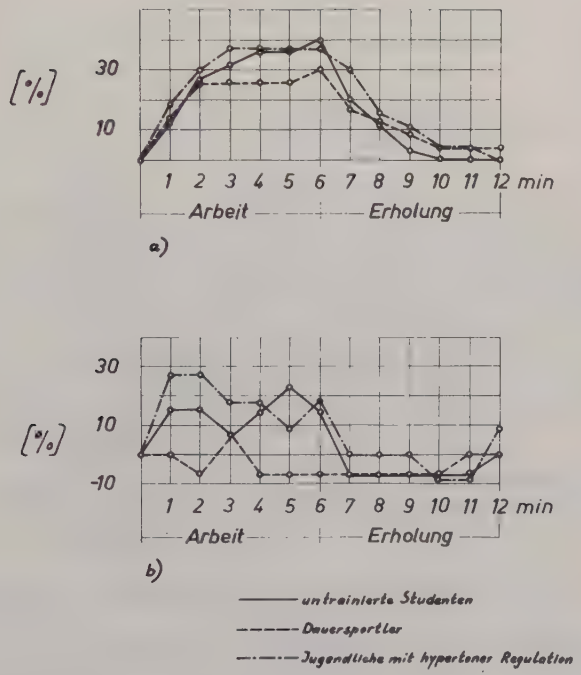

Abb. 14 **Relatives Verhalten des systolischen (14 a) und des diastolischen (14 b) Blutdrucks (Boucke-Brecht)**

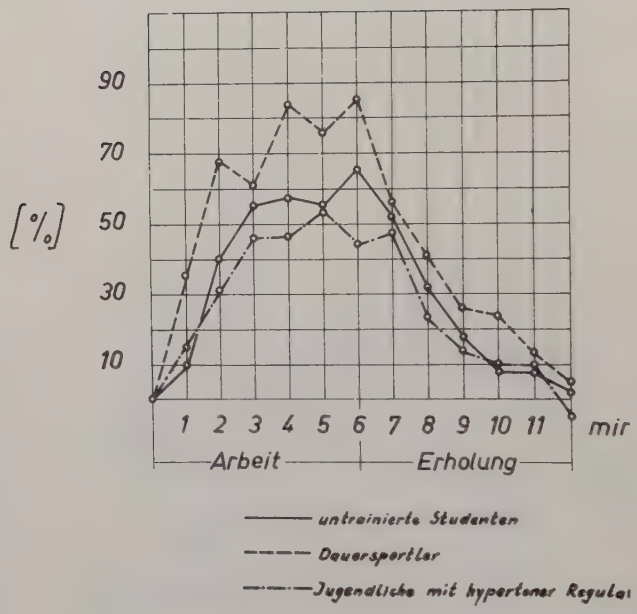

Abb. 15 Relatives Verhalten der Blutdruckamplitude (Boucke-Brecht)

II. c. Gegenüberstellung der jeweiligen Werte beider Methoden

Das nach der Auskultationsmethode und nach der Boucke-Brecht-Methode bestimmte prozentuale Verhalten des Anstiegs und Abfalls des arteriellen Blutdrucks der drei Vergleichsgruppen wird in den Abb. 16 - 23 einander gegenübergestellt.

Bei den Dauersportlern liegen die durch die auskultatorische Methode gefundenen prozentualen systolischen Druckveränderungen fast durchgehend 5 % unter den durch die 2. Methode gefundenen Werten.

Die diastolischen Ergebnisse weichen in der Arbeitsphase teilweise bis zu 20 % voneinander ab, wobei die Auskultationswerte über den Boucke-Brecht-Werten liegen. In der Erholungsphase entsprechen sie sich annähernd.

Die Druckamplituden sind nach der Auskultationsmethode im ganzen Verlauf der Arbeits- und Erholungsphase prozentual kleiner als nach der Infraton-Methode.

Die Simultanergebnisse der untrainierten Studenten werden in Abb. 18, 19, 22 dargestellt. Der Kurvenverlauf sowohl des prozentualen Anstiegs als auch des Abfalls des systolischen und diastolischen Drucks und der Amplituden erfolgt wie der der Dauersportler, jedoch in jeweils umgekehrter Anordnung. Eine Verschiebung der Kurven erfolgt bei den "Hypertonikern", die durch Abb. 20, 23 wiedergegeben wird. Während sich die Prozentualkurven des systolischen Drucks zueinander wie die der Dauersportler verhalten, verschieben sie sich für den diastolischen Druck erheblich. Diese Verschiebung erklärt sich aus der "Verlagerung" des auskultatorischen Bestimmungskriteriums, worauf bereits im Abschnitt D I b hingewiesen wurde.

Daher ist auch der prozentuale Verlauf der Amplitudenhöhen der Arbeits- und Erholungsphase nach der auskultatorischen Methode größer als nach der graphischen Methode.

III. Statistische Beurteilung der Untersuchungsergebnisse
Tabellen 1 - 6

Die Streuung der Untersuchungsergebnisse ist bei allen Vergleichsgruppen, wie es die σ und σ_M-Werte veranschaulichen, bei der geringen Gesamtzahl der Untersuchungspersonen relativ groß.

Trotzdem konnten statistisch gesicherte Unterschiede für die systolischen Druckwerte zwischen den Vergleichsgruppen ermittelt werden. Nur in einzelnen Gruppen sind die Differenzen des diastolischen Drukkes statistisch signifikant.

Das unterschiedliche Verhalten des systolischen Druckes zwischen Dauersportlern und Jugendlichen mit hypertoner Regulation vor, während und nach einer Leistung von 100 Watt/6 Minuten ist sowohl in Ruhe als auch während der Belastung und in der Erholungsphase - bis auf die letzte Erholungsminute - nach beiden Methoden statistisch gesichert. Vgl. Tabellen 1 und 2.

Zwischen den Dauersportlern und untrainierten Studenten ist das unterschiedliche Verhalten nicht mehr so ausgeprägt. Nur in der 2. - 6. Ar-

Abb. 16

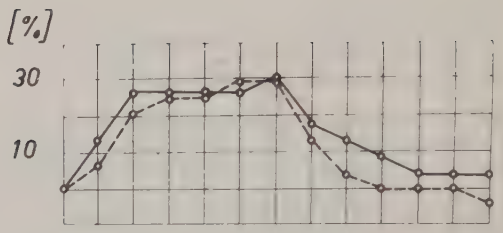

Abb. 17

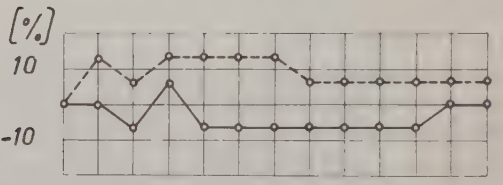

Abb. 18

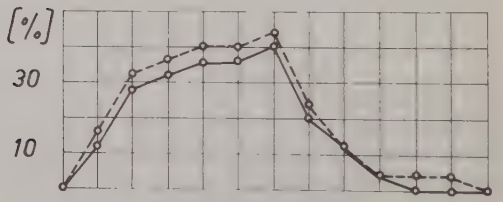

Abb. 19

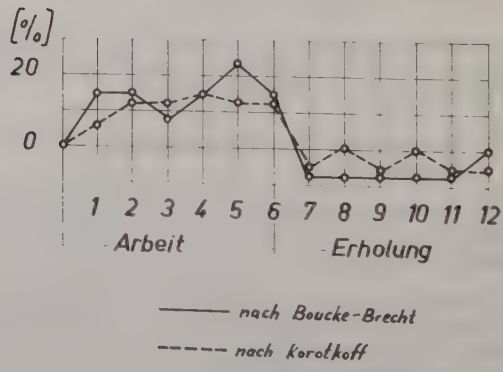

Abb. 16 - 19 Vergleichende Darstellung der relativen Simultanergebnisse des systolischen und des diastolischen Blutdrucks der hochtrainierten Dauersportler (Abb. 16 und 17) und der untrainierten Studenten (Abb. 18 und 19)

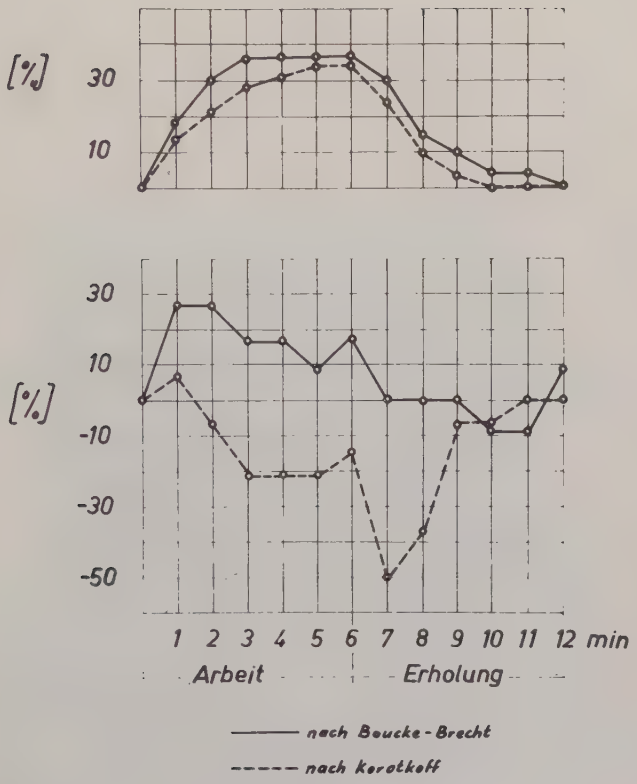

Abb. 20 (a und b) Vergleichende Darstellung der relativen Simultanergebnisse des systolischen (a) und des diastolischen (b) Blutdrucks der Jugendlichen mit hypertoner Regulation

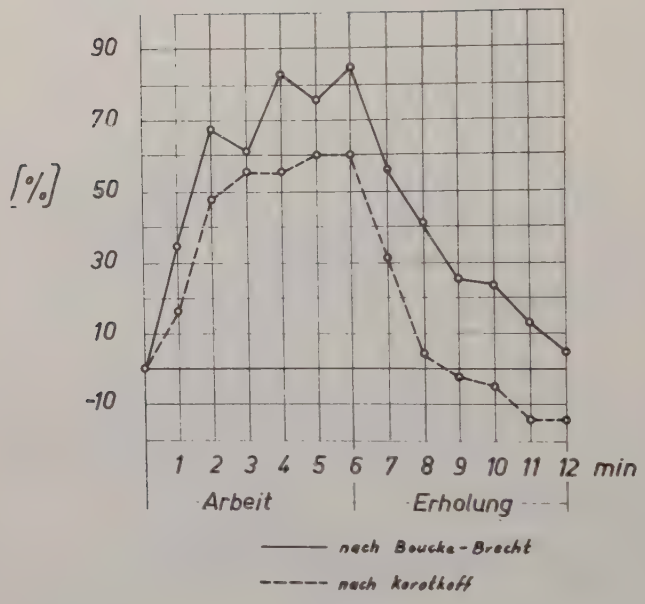

Abb. 21 Vergleichende Darstellung der relativen Simultanergebnisse der Blutdruckamplitude der hochtrainierten Dauersportler

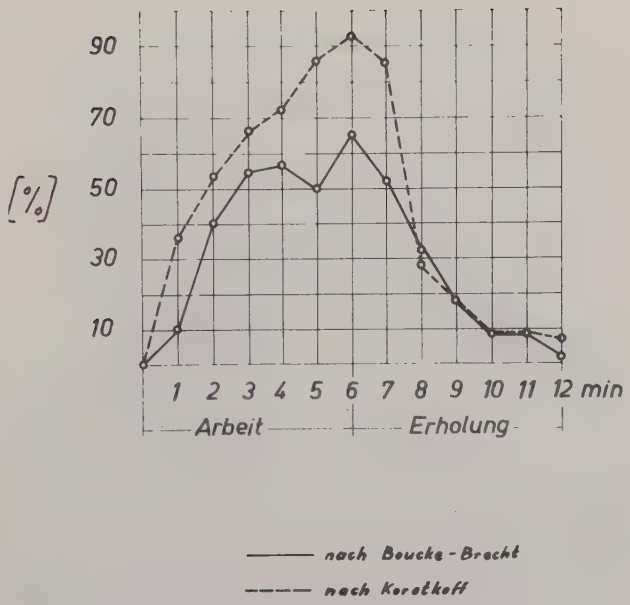

Abb. 22 Vergleichende Darstellung der relativen Simultanergebnisse der Blutdruckamplitude der untrainierten Studenten

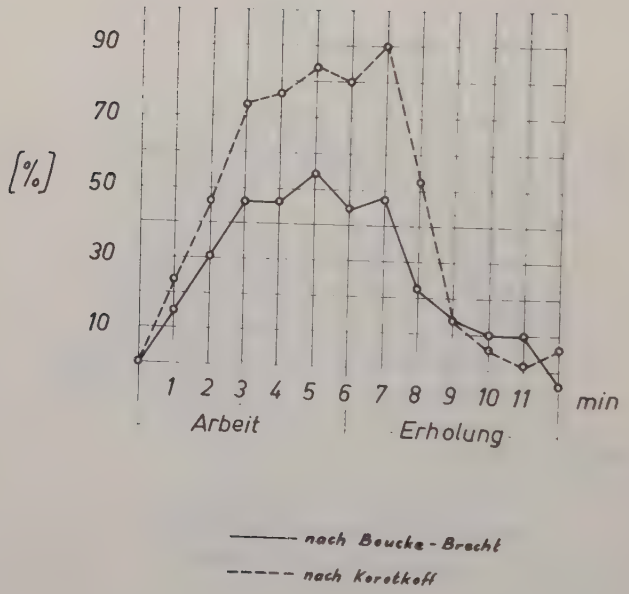

Abb. 23 Vergleichende Darstellung der relativen Simultanergebnisse der Blutdruckamplitude der Jugendlichen mit hypertoner Regulation

		Ruhe		Leistung											
		s	d	s [1]	d	s [2]	d	s [3]	d	s [4]	d	s [5]	d	s [6]	d
Jugendl. mit	M	145	70	165	75	175	65	185	55	190	55	195	55	195	60
hypertoner	σ	13	10	13	18	14	25	10	38	7	39	6	40	6	41
Regulation	σ_{M_1}	5,9	4,5	5,9	8,2	6,4	11,4	4,2	17,3	3,2	17,7	2,7	18,2	2,7	18,6
Hochtrainier-	M	120	75	130	85	145	80	150	85	150	85	155	85	155	85
te Dauer-	σ	7	8	5	5	9	11	11	10	7	5	9	6	8	6
sportler	σ_{M_2}	3,2	3,6	2,3	2,3	4,1	5	5	4,5	3,2	2,3	4,1	2,7	3,6	2,7
	M_1 M_2	25	5	35	10	30	15	35	30	40	30	40	30	40	25
	$^3\sigma$ Diff	20,1	17,4	18,9	25,3	22,7	36,9	20,2	53,7	13,5	53,7	14,7	55,2	13,5	56,4

Tabelle 1

s = systolisch, d = diastolisch

		Erholung											
		s	d	s	d	s	d	s	d	s	d	s	d
Jugendl. mit	M	180	35	160	45	150	65	145	65	145	70	145	70
hypertoner	σ	8	43	5	33	5	17	10	7	12	12	13	9
Regulation	σ_{M_1}	3,6	19,5	2,3	15	2,3	7,7	4,5	3,2	5,45	5,45	5,9	4,1
Hochtrainierte	M	135	80	125	80	120	80	120	80	120	80	115	80
Dauer-	σ	18	6	9	3	9	2	7	0	5	2	6	2
sportler	σ_{M_2}	8,2	2,7	4,1	1,4	4,1	0,9	3,2	0	2,3	0,9	2,7	0,9
	M_1-M_2	45	45	35	35	30	15	25	15	25	10	30	10
	$^3\sigma$ Diff	26,8	59,1	14,0	45,3	14,0	23,3	16,6	9,5	17,7	16,6	19,5	12,6

Tabelle 1 a

s = systolisch, d = diastolisch

		Ruhe		Leistung											
		s	d	s 1	d	s 2	d	s 3	d	s 4	d	s 5	d	s 6	d
Jugendl. mit	M	135	55	160	70	175	70	185	65	185	65	185	60	185	65
hypertoner	σ	11	9	6	9	5	13	8	14	12	9	6	14	12	16
Regulation	σ_{M_1}	5	4,1	2,7	4,1	2,3	5,9	3,6	6,4	5,5	4,1	2,7	6,4	5,5	7,3
Hochtrainier-	M	115	70	130	70	145	65	145	65	145	65	145	65	150	65
te Dauer-	σ	9	2	11	11	9	10	12	10	10	7	13	9		6
sportler	σ_{M_2}	4,3	0,9	5	5	4,1	4,5	5,4	4,5	4,5	3,2	5,9	4,1	5,4	4,7
	M_1-M_2	20	15	30	0	30	5	40	10	40	0	40	5	35	0
	$^3\sigma$ Diff	19,8	12,6	16,8	19,5	14,1	22,2	19,2	23,4	21,3	14,5	19,5	22,8	23,1	26,1

Tabelle 2

s = systolisch, d = diastolisch

		Erholung											
		s	d	s	d	s	d	s	d	s	d	s	d
Jugendl. mit	M	175	55	155	55	150	55	140	50	140	50	135	60
hypertoner	σ	8	19	7	18	9	10	7	12	6	9	7	17
Regulation	σ_{M_1}	3,6	8,6	3,2	8,2	4,1	4,5	3,2	5,5	2,7	4,1	3,2	7,7
Hochtrainierte	M	135	65	130	65	125	65	120	65	120	70	120	70
Dauer-	σ	14	10	11	8	11	8	10	3	11	6	9	1
sportler	σ_{M_2}	6,4	4,5	5	3,6	5	3,6	4,5	1,4	5	4,7	4,1	0,5
	M_1-M_2	40	10	25	10	25	10	20	15	20	20	15	10
	$^3\sigma$ Diff	21,9	28,5	17,7	27,0	19,5	17,4	16,5	17,1	17,1	18,6	15,8	23,1

Tabelle 2 a

s = systolisch, d = diastolisch

		Ruhe		Leistung											
		s	d	s 1	d	s 2	d	s 3	d	s 4	d	s 5	d	s 6	d
Untrainierte	M	12	80	145	85	165	90	170	90	175	95	175	90	180	90
Studenten	σ	8	5	17	8	13	12	9	11	9	13	10	11	8	15
	σ_{M_1}	3,1	1,9	6,6	3,1	5,0	4,6	3,5	4,3	3,5	5,0	3,8	4,2	3,1	5,8
Hochtrainierte	M	120	75	130	85	145	80	150	85	150	85	155	85	155	85
Dauer-	σ	7	8	5	5	9	11	11	10	7	5	9	6	8	6
sportler	σ_{M_2}	3,2	3,6	2,3	2,3	4,1	5	5	4,5	3,2	2,3	4,1	2,7	3,6	2,7
	M_1-M_2	5	5	15	0	20	10	20	5	25	10	20	5	25	5
	3σ Diff	13,3	12,3	20,9	11,4	19,4	20,3	18,2	18,3	14,1	16,5	16,8	15,1	14,3	19,1

Tabelle 3

s = systolisch, d = diastolisch

		Erholung											
		s	d	s	d	s	d	s	d	s	d	s	d
Untrainierte Studenten	M	155	75	140	80	130	75	130	80	130	75	125	75
	σ	12	6	5	6	4	7	4	5	6	5	6	5
	σ_{M_1}	4,6	2,3	1,9	2,3	1,5	2,7	1,5	1,9	2,3	1,9	2,3	1,9
Hochtrainierte Dauer-sportler	M	135	80	125	80	120	80	120	80	120	80	115	80
	σ	18	6	9	3	9	2	7	0	5	2	6	2
	σ_{M_2}	8,2	2,7	4,1	1,4	4,1	0,9	3,2	0	2,3	0,9	2,7	0,9
	M_1-M_2	20	5	15	0	10	5	10	0	10	5	10	5
	$^3\sigma$ Diff	28,2	10,7	13,6	8,0	13,1	8,5	10,6	5,8	9,7	6,4	10,7	6,4

Tabelle 3 a

s = systolisch, d = diastolisch

		Ruhe		Leistung											
		s	d	s 1	d	s 2	d	s 3	d	s 4	d	s 5	d	s 6	d
Untrainierte Studenten	M	125	65	140	75	160	75	165	70	170	75	170	80	175	75
	σ	7	8	5	9	11	12	11	9	11	12	9	8	10	9
	σ_{M_1}	2,7	3,08	1,9	3,5	4,2	4,6	4,2	3,5	4,2	4,6	3,5	3,1	3,8	3,5
Hochtrainierte Dauer-sportler	M	115	70	130	70	145	65	145	75	145	65	145	65	150	65
	σ	9	2	11	11	9	10	12	10	10	7	13	9	12	6
	σ_{M_2}	4,3	0,9	5	5	4,1	4,5	5,4	4,5	4,5	3,2	5,9	4,1	5,4	4,7
	M_1-M_2	10	5	10	5	15	10	20	5	25	10	25	15	25	10
	3σ Diff	15,24	9,6	15,9	18,3	17,4	19,5	20,4	17,1	18,5	17,1	20,7	15,5	19,8	17,4

Tabelle 4

s = systolisch, d = diastolisch

		Erholung											
		s	d	s	d	s	d	s	d	s	d	s	d
Untrainierte Studenten	M	150	60	140	60	130	60	125	60	125	60	125	65
	σ	8	13	5	9	4	8	6	11	6	14	5	14
	σ_{M_1}	3,1	5	1,9	3,5	1,5	3,1	2,3	4,2	2,3	5,4	1,9	5,4
Hochtrainierte Dauer-sportler	M	135	65	130	65	125	65	120	65	120	70	120	70
	σ	14	10	11	8	11	8	10	3	11	6	9	1
	σ_{M_2}	6,4	4,5	5	3,6	5	3,6	4,5	1,4	5	4,7	4,1	0,5
	M_1-M_2	15	5	10	5	5	5	5	5	5	10	5	5
	$^3\sigma$ Diff	21,3	20,1	15,9	15,0	15,6	14,4	15,5	13,2	16,5	21,6	13,5	16,2

Tabelle 4 a

s = systolisch, d = diastolisch

		Ruhe		Leistung											
		s	d	s 1	d	s 2	d	s 3	d	s 4	d	s 5	d	s 6	d
Jugendl. mit	M	145	70	165	75	175	65	185	55	190	55	195	55	195	60
hypertoner	σ	13	10	13	18	14	25	10	38	7	39	6	40	0	41
Regulation	σ_{M_1}	5,9	4,5	5,9	8,2	6,4	11,4	4,5	17,3	3,2	17,7	2,3	18,2	2,7	18,6
Untrainierte	M	125	80	145	85	165	90	170	90	175	95	175	90	180	90
Studenten	σ	8	5	17	8	13	12	9	11	9	13	10	11	8	15
	σ_{M_2}	3,1	1,9	6,6	3,1	5,0	4,6	3,5	4,2	3,5	5,0	3,8	4,2	3,1	5,8
	M_1-M_2	20	10	20	10	10	25	15	35	15	40	20	35	15	30
	$^3\sigma$ Diff	19,9	14,7	26,5	26,2	24,3	36,6	17,1	54,4	14,1	55,2	14,1	56,1	12,3	58,5

Tabelle 5

s = systolisch, d = diastolisch

		Erholung											
		s	d	s	d	s	d	s	d	s	d	s	d
Jugendl. mit	M	180	35	160	45	150	65	145	65	145	70	145	70
hypertoner	σ	8	43	5	33	5	17	10	17	12	12	13	9
Regulation	σ_{M_1}	3,6	19,5	2,3	15,0	2,3	7,7	4,5	3,2	5,45	5,45	5,9	4,1
Untrainierte	M	155	75	140	80	130	75	130	80	130	75	125	75
Studenten	σ	12	6	5	6	4	7	4	5	6	5	6	5
	σ_{M_2}	4,6	2,3	1,9	2,3	3,5	2,7	1,5	1,9	2,3	1,9	2,3	1,9
	M_1-M_2	25	40	20	35	20	10	15	15	15	5	20	5
	$3\sigma_{Diff}$	17,6	58,8	8,8	45,6	8,2	24,5	14,3	11,1	17,7	17,3	18,0	13,6

Tabelle 5 a

s = systolisch, d = diastolisch

		Ruhe		Leistung											
		s	d	s 1	d	s 2	d	s 3	d	s 4	d	s 5	d	s 6	d
Jugendl. mit	M	135	55	160	70	175	70	185	65	185	65	185	60	185	65
hypertoner	σ	11	9	6	9	5	13	8	14	12	9	6	14	12	16
Regulation	σ_{M_1}	5	4,1	2,7	4,1	2,3	5,9	3,6	6,4	5,5	4,1	2,7	6,4	5,5	7,3
Untrainierte	M	125	65	140	75	160	75	165	70	170	75	170	80	175	75
Studenten	σ	7	8	5	9	11	12	11	9	11	12	9	8	10	9
	σ_{M_2}	2,7	3,1	1,9	3,5	4,2	4,6	4,2	3,5	4,2	4,6	3,5	3,1	3,8	3,5
	M_1-M_2	10	10	20	5	15	5	20	5	15	10	15	20	10	10
	3σ Diff	17,1	15,6	9,9	16,2	14,4	22,5	16,5	21,9	20,7	18,6	13,2	21,3	20,1	24,3

Tabelle 6

s = systolisch, d = diastolisch

		Erholung											
		s	d	s	d	s	d	s	d	s	d	s	d
Jugendl. mit	M	175	5	155	55	150	55	140	50	140	50	135	60
hypertoner	σ	8	19	7	18	9	10	7	10	6	9	7	17
Regulation	σ_{M_1}	3,6	8,6	3,2	8,2	4,1	4,5	3,2	5,5	2,7	4,1	3,2	7,7
Untrainierte	σ M	150	60	140	60	130	60	125	60	125	60	125	65
Studenten	σ	8	13	5	9	4	8	6	11	6	14	5	14
	M_2	3,1	5	1,9	3,5	1,5	3,1	2,3	4,3	2,3	5,4	1,9	5,4
	M_1-M_2	25	5	15	5	20	5	15	10	15	10	10	5
	3σ Diff	13,5	30,0	14,1	26,7	13,2	13,2	11,7	22,7	10,8	20,4	11,1	28,2

Tabelle 6 a

s = systolisch, d = diastolisch

beitsminute und 1. und 5. Erholungsminute nach der Korotkoff'schen Methode und in der 4., 5. und 6. Arbeitsminute nach der graphischen Registriermethode sind die systolischen Druckdifferenzen signifikant. Vgl. Tabellen 3 und 4.

Statistisch gesicherte Unterschiede des systolischen Blutdrucks zwischen untrainierten Studenten und "Hypertonikern" bestehen nach der auskultatorischen Methode in Ruhe, in der 4., 5. und 6. Arbeitsminute und in der 1. - 4. und 6. Erholungsminute und nach der Methode von Boucke-Brecht, in der 1., 2., 3. und 5. Arbeitsminute und in der 1. - 5. Erholungsminute. Vgl. Tabellen 5 und 6.

In den meisten übrigen Fällen wurde für den systolischen Druck der jeweiligen Vergleichsgruppen die Signifikanz nur wenig verfehlt.

IV. Beschreibung der Ergebnisse der Abteilung II

Die Untersuchungsergebnisse dieser Abteilung werden zur Vereinfachung der Darstellung mit besonderen vergleichenden Hinweisen auf die ausführlich beschriebenen Ergebnisse der Abteilung I zusammenfassender behandelt. (Abb. 24 - 39)

IV. a. Die Ruhewerte

Die systolischen Ruhewerte der Gruppen in der Abteilung I entsprechen den Ruhewerten der Gruppen in Abteilung II.

Die diastolischen Ruhewerte betragen nach der auskultatorischen Methode bei den Dauersportlern 70 mmHg, bei den untrainierten Studenten 65 mmHg. Nach der graphischen Registriermethode sind für beide Vergleichsgruppen 60 mmHg gemessen worden.

In Ruhe sind die Druckamplituden in Abteilung II unterschiedlich größer als in Abteilung I. Nach beiden Bestimmungsmethoden, ebenso wie in Abteilung I aber jeweils bei den Dauersportlern kleiner als bei den untrainierten Studenten.

IV. b. Werte der Arbeits- und Erholungsphasen

In den Belastungsversuchen von 2 Watt/Körpergewicht/3 min konnte während der Arbeitsphase bei den Studenten der Blutdruck nur in der 3. Minute registriert und annähernd überzeugend ausgewertet werden. Im Anfang der Arbeit war für die Probanden die Anstrengung so groß, daß die Versuchsperson durch zu heftige Bewegungen, auch an der Abnahmestelle, das Schreibsystem im Registriergerät bis zur Auswanderung brachte.

Die markanten Verhaltensmerkmale des arteriellen Drucks während der Arbeits- und Erholungsphase einerseits und besonders zwischen trainierten und untrainierten Untersuchungspersonen andererseits, werden an Hand der graphischen Darstellungen dieser Abteilung besonders deutlich veranschaulicht.

Der Anstieg des systolischen Blutdrucks erfolgt in der Arbeitsphase nach beiden Untersuchungsmethoden bei den untrainierten Probanden absolut um ca. 20 mmHg - und prozentual um ca. 15 % höher als bei

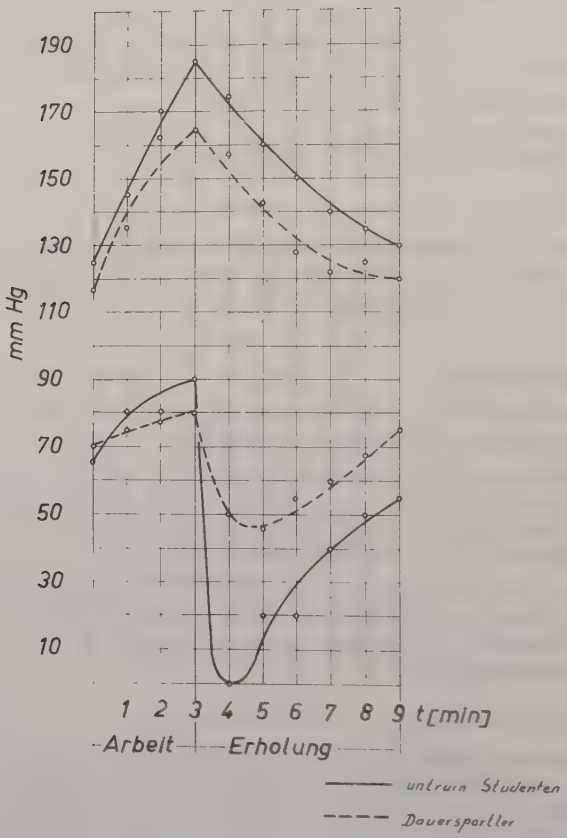

Abb. 24 Verhalten des systolischen und des diastolischen Blutdrucks (Riva-Rocci-Korotkoff)

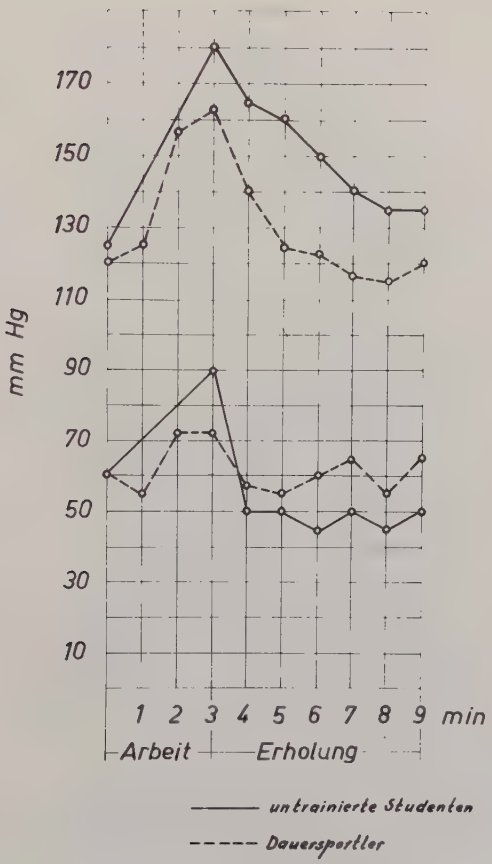

Abb. 25 Verhalten des systolischen und des diastolischen Blutdrucks (Boucke-Brecht)

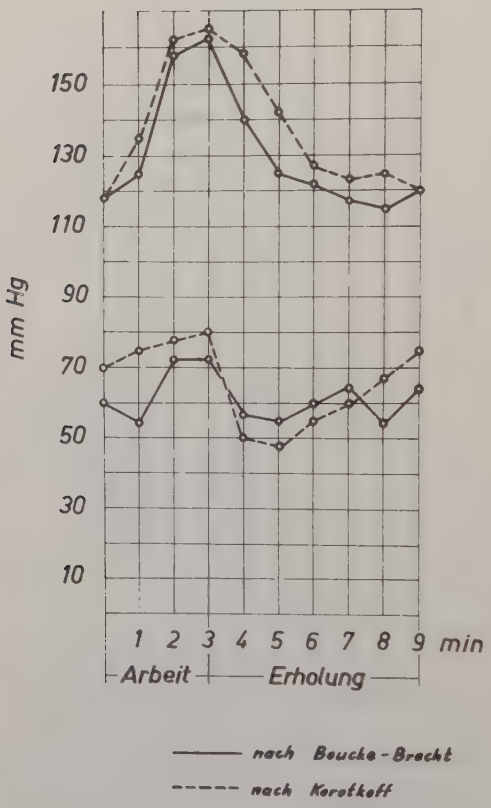

Abb. 26 Vergleichende Darstellung der Simultanergebnisse des systolischen und des diastolischen Blutdrucks der hochtrainierten Dauersportler

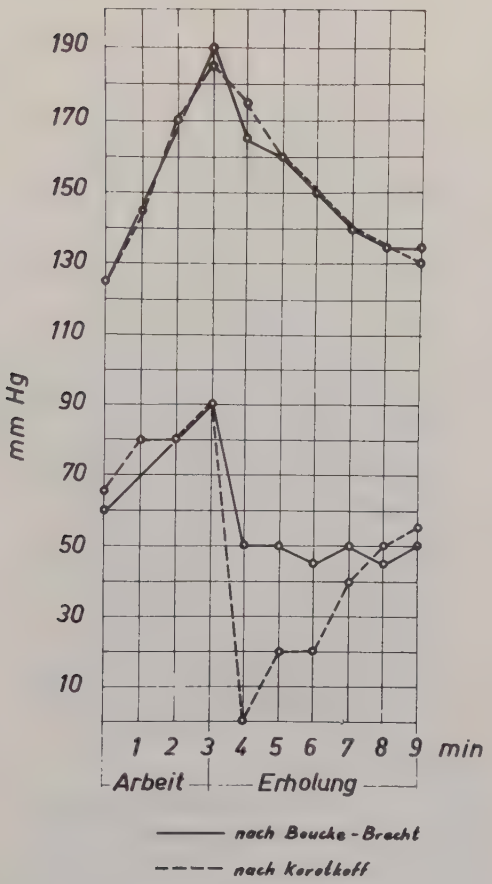

Abb. 27 Vergleichende Darstellung der Simultanergebnisse des systolischen und des diastolischen Blutdrucks der untrainierten Studenten

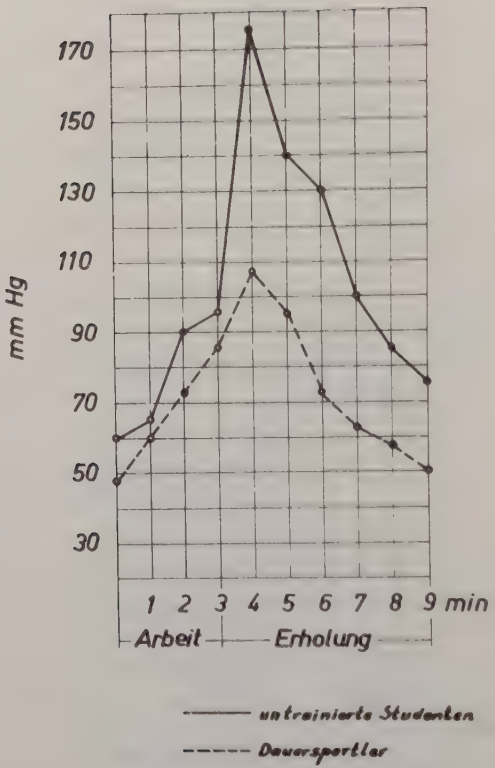

Abb. 28 Verhalten der Blutdruckamplituden (Riva-Rocci-Korotkoff)

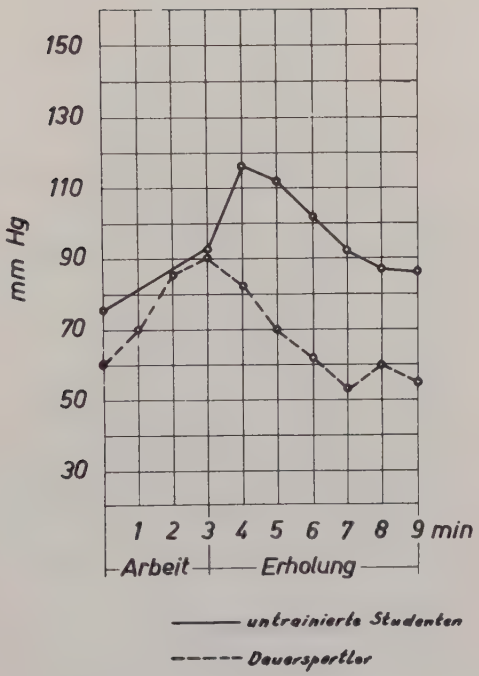

Abb. 29 Verhalten der Blutdruckamplituden (Boucke-Brecht)

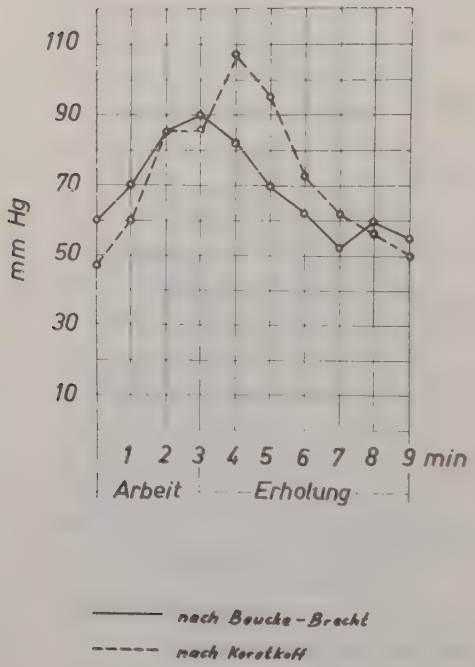

Abb. 30 Vergleichende Darstellung der Simultanergebnisse der Blutdruckamplitude der hochtrainierten Dauersportler

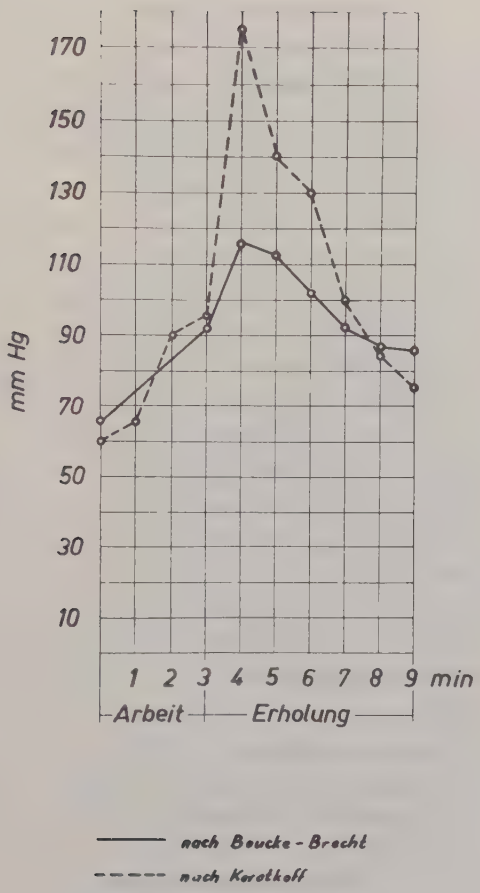

Abb. 31 Vergleichende Darstellung der Simultanergebnisse der Blutdruckamplitude der untrainierten Studenten

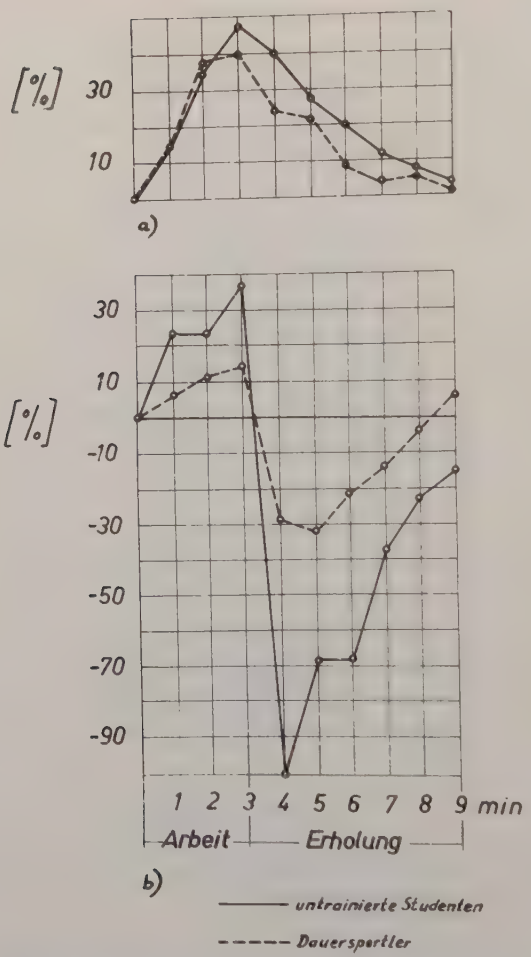

Abb. 32 a und b Relatives Verhalten a) des systolischen, b) des diastolischen Blutdrucks (Riva-Rocci-Korotkoff)

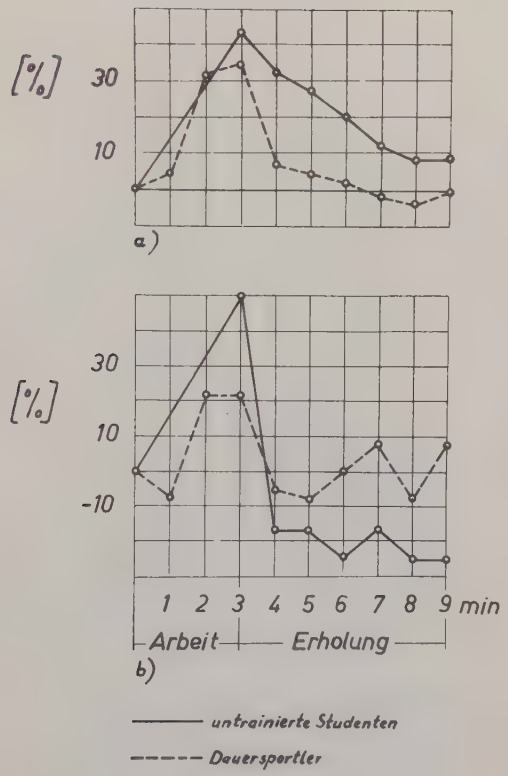

Abb. 33 a und b Relatives Verhalten a) des systolischen, b) des diastolischen Blutdrucks (Boucke-Brecht)

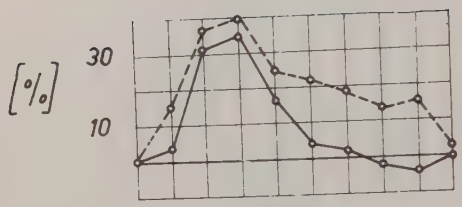

Abb. 34a

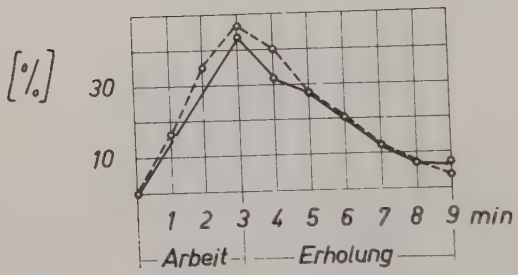

Abb. 35a

——— nach Boucke-Brechl

– – – – – nach Korotkoff

Abb. 34 a und 35 a
Vergleichende Darstellung der relativen Simultanergebnisse des systolischen Blutdrucks der hochtrainierten Dauersportler (Abb. 34 a) und der untrainierten Studenten (Abb. 35 a)

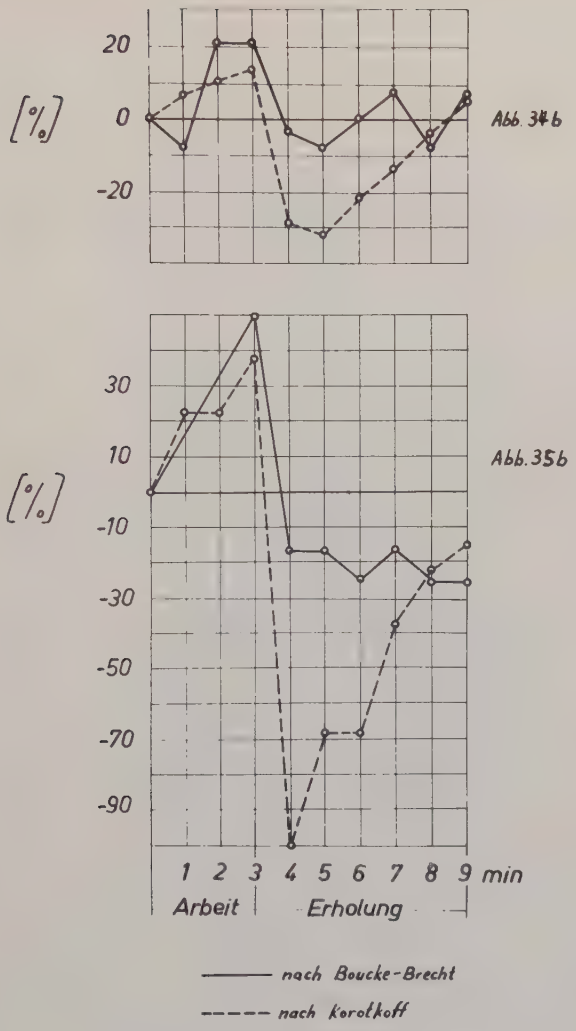

Abb. 34 b und 35 b
Vergleichende Darstellung der relativen Simultanergebnisse des diastolischen Blutdrucks der hochtrainierten Dauersportler (Abb. 34 b) und der untrainierten Studenten (Abb. 35 b)

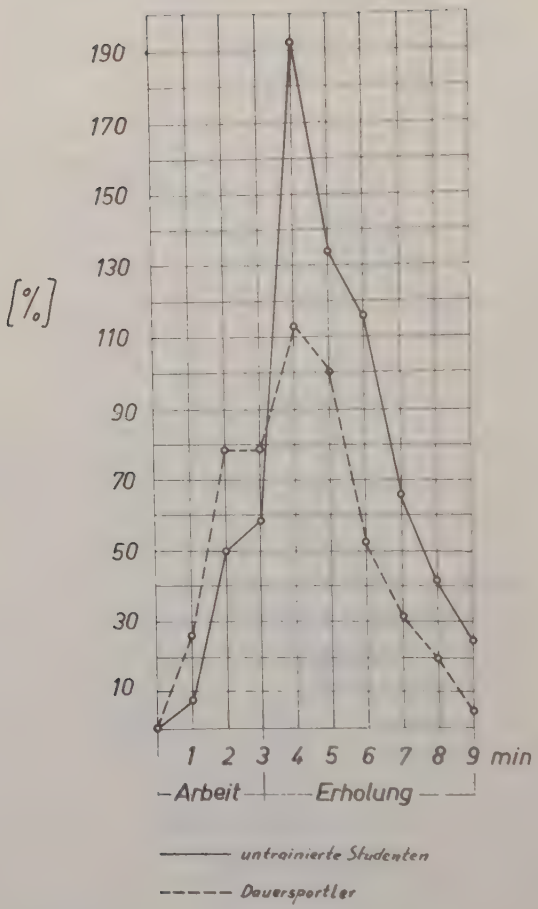

Abb. 36 Relatives Verhalten der Blutdruckamplitude (Riva-Rocci-Korotkoff)

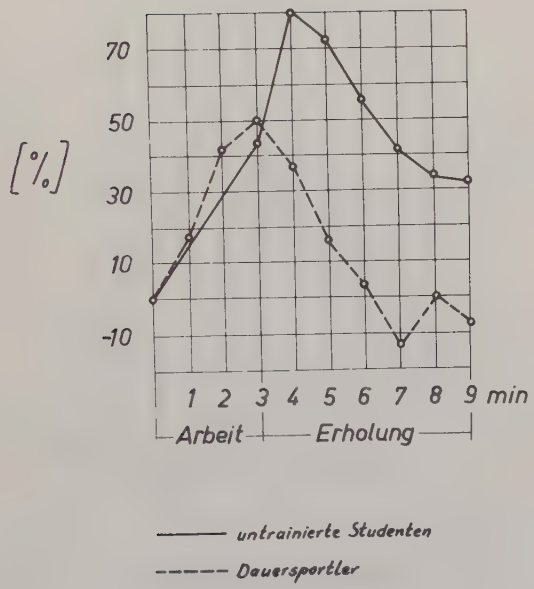

Abb. 37 Relatives Verhalten der Blutdruckamplitude (Boucke-Brecht)

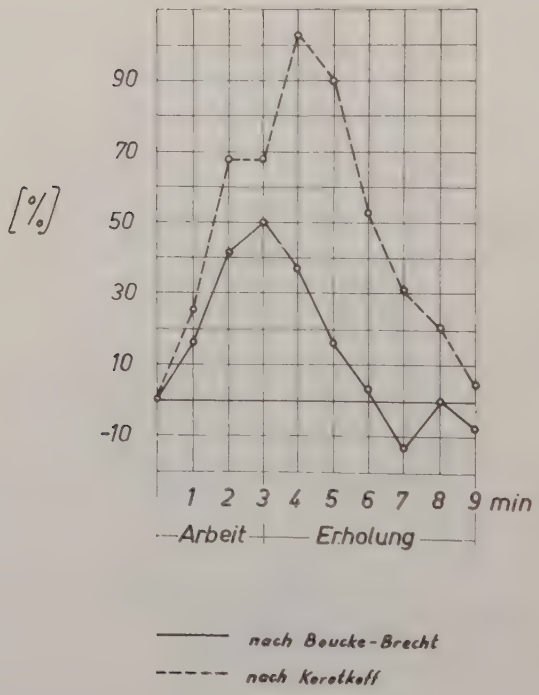

Abb. 38 Vergleichende Darstellung der relativen Simultanergebnisse der Blutdruckamplitude der hochtrainierten Dauersportler

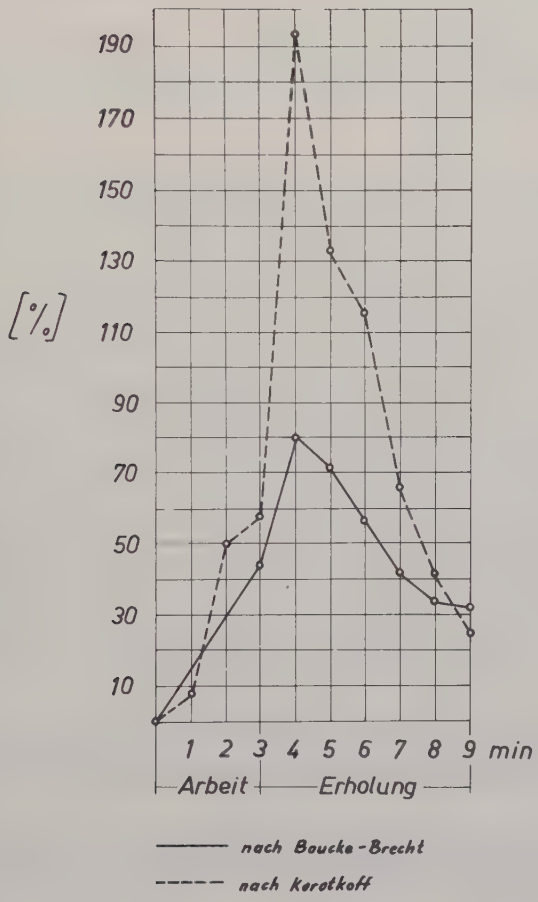

Abb. 39 Vergleichende Darstellung der relativen Simultanergebnisse der Blutdruckamplitude der untrainierten Studenten

den trainierten Versuchspersonen. Der initiale Anstieg ist nach der auskultatorischen Methode jedoch bei den Trainierten nur um 1 % kleiner als bei den Untrainierten. Nach der Simultanmethode läßt er sich leider nicht beurteilen, da bei den Untrainierten - wie oben beschrieben - der Blutdruck während der 1. und 2. Arbeitsminute nicht ermittelt werden konnte.

In der Erholungsphase hat der systolische Druck bei den Dauersportlern bereits in der dritten Minute den Ausgangswert erreicht, während dieser bei den untrainierten Studenten auch mit der letzten Messung noch nicht erlangt ist.

Der Anstieg des diastolischen Druckes erfolgt bei dieser Beanspruchung bei den Dauersportlern während der Arbeit um ca. 15 % höher als bei der 100 Watt Leistung. In der Erholungsphase fällt er nach der Korotkoff'schen Methode auch sofort um ca. 30 % bis unter den Ausgangswert ab, ehe er nach der 2. Minute wieder ansteigt. Nach den infratonbestimmten Ergebnissen pendelt er jedoch nur um ± 8,1 % um den Ruhewert. Entsprechende, aber größere Schwankungen des diastolischen Drucks erfolgen bei den untrainierten Studenten. In der Arbeitsphase steigt der diastolische Druck nach der auskultatorischen Methode um 38 % - nach der Infratonmethode um 50 % an. Während bei ihnen in der Erholungsphase im 100 Watt Belastungsversuch das Arteriengeräusch in keinem einzigen Falle nach der Arbeit noch bei einem Manschettendruck von "0" mmHg zu hören war, tritt dieses Phänomen bei der größeren Belastung jetzt in der 1. Erholungsminute ausnahmslos auf. Es erfolgt - dadurch bedingt - auskultatorisch ein Druckabfall von insgesamt 138 %. In zwei Fällen ist das diastolische Geräusch in der 2. Minute jedoch nur noch bis zu 45 und 75 mmHg zu hören gewesen, während es sich bei den übrigen Probanden in weiteren zwei Fällen bis zur 3. Minute und in einem Fall in der 4. Minute noch bei einem Druck von 0 mmHg feststellen ließ. Nach der Infratonmethode fällt der diastolische Druck jedoch nur um 25 % bis unter den Ruhewert ab.

In der 3. Arbeitsminute ist die Blutdruckamplitude bei den Dauersportlern nach der auskultatorischen Methode von 47,5 mmHg auf 85 mmHg, bei den untrainierten Studenten von 60 mmHg auf 95 mmHg angestiegen.

Nach der Boucke-Brecht-Methode vergrößern sich die Amplituden der Dauersportler von 60 mmHg, die der Studenten von 65 mmHg gemeinsam auf 90 mmHg.

Daraus resultiert für die Dauersportler sowohl nach der einen als auch nach der anderen Registriermethode eine größere prozentuale Blutdruckamplitudenerhöhung während der Arbeitsphase als für die Vergleichsgruppe.

Im Anfang der Erholungsphase werden die Blutdruckamplituden nach der Korotkoff'schen Methode durch das allgemein schnellere und größere Absinken des diastolischen als des systolischen Drucks zunächst noch größer. Bei den Dauersportlern erreichen sie nach der auskultatorischen Bestimmungsmethode eine Höhe von 107,5 mmHg - nach der Boucke-Brecht-Methode erfolgt dagegen ein Abfall bis 82,5 mmHg.

Bedingt durch das Absinken des diastolischen Bestimmungskriteriums auf 0 mmHg nach der Korotkoff'schen Methode im Anfang der Erholungsphase steigt die Druckamplitude der Studenten bis auf 175 mmHg durchschnittlich an. Nach der Boucke-Brecht-Methode ist die Blutdruckamplitude zu diesem Zeitpunkt bis 117 mmHg angestiegen.

Im weiteren Verlauf wird der Ausgangswert bei den Dauersportlern zur 6. Ruheminute nur um 2,5 mmHg nach der Korotkoff'schen Methode verfehlt. Bei den untrainierten Studenten wird dagegen der Ruhewert bis auf 15 bzw. 20 mmHg nicht erreicht.

E. Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

I. Beurteilung der Simultanergebnisse und der Bestimmungsmethoden

Die simultan bestimmten Blutdruck-Ruhewerte nach den Methoden von Korotkoff und Boucke-Brecht lassen sich unter Berücksichtigung der Fehlerbreite der Simultanbestimmung weitgehend zur Deckung bringen. Die Simultanwerte des systolischen Leistungs- und Erholungsdrucks zeigen ebenso gute Übereinstimmung. Die diastolischen Simultanergebnisse der Leistungs- und Erholungsphase sind dagegen nicht bei allen Messungen deckungsgleich. Die Abweichungen betragen im Einzelfall bis zu 70 mmHg. Sie treten sicher nachweisbar auf, wenn das auskultatorische Bestimmungskriterium nach unten nicht abgrenzbar ist, während das Bestimmungskriterium nach der graphischen Methode deutlich erkennbar bei höheren Werten liegt. Im niedrigsten Fall unserer Ergebnisse ist es bei 30 mmHg nachweisbar.

Diese Abweichungen fanden Henschel und Mitarbeiter (1954) auch bei blutig-unblutigen Simultanmessungen. Hiernach ist besonders die Bestimmung des diastolischen Leistungs- und Erholungsdruckes nach Korotkoff sehr ungenau, die Beurteilung sehr problematisch und exakt gar nicht möglich. Von den meisten Autoren wird die Auswertung des 0-Phänomens auch abgelehnt, da es sich aus den bisherigen Kenntnissen über die arterielle Druckbestimmung nach Korotkoff nicht erklären läßt. Trotzdem wird man in der Kreislaufdiagnostik auf die Bestimmung des arteriellen Leistungs- und Erholungsblutdrucks nach der Korotkoff'schen Methode so lange nicht verzichten können, bis eine genauere Methode, die dieser in ihrer Einfachheit ebenbürtig ist, zur Verfügung steht. Eine genaue Bestimmung der systolischen Leistungs- und Erholungswerte, die dem intraarteriellen Druck annähernd entsprechen, ist dagegen nach dieser Methode sehr wahrscheinlich. Der systolische Leistungs- und Erholungsblutdruck allein gestattet nach seinem absoluten und relativen Verhalten schon eine gute Beurteilung der Leistungsbreite des peripheren Kreislaufs.

Zwischen dem Auftreten des "0" Phänomens einerseits und der Leistungsgröße und dem Trainingszustand andererseits, sind in Übereinstimmung mit Krestownikow (1953) und Parade und Ohr (1943) für die Erholungsphase Beziehungen wahrscheinlich. Je untrainierter die Versuchsperson ist und je größer die Leistung, desto eher scheint nach den vorliegenden Ergebnissen und unseren Erfahrungen dieses Phänomen aufzutreten. Inwieweit gesetzmäßige Beziehungen zur Größe der Herzschlagfrequenz bestehen - wie zu erwarten ist - müßte erst geklärt werden.

Im 100 Watt Versuch der Abteilung I treten die Geräusche bis zum Manschettendruck von Null mmHg in der Erholungsphase zunächst nur bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation in einzelnen Fällen auf. Bei der Leistung von 2 Watt/kg Körpergewicht in Abteilung II treten sie auch bei allen untrainierten Studenten auf, während sie bei den Dauersportlern in keinem Fall ermittelt werden konnten.

Die auskultierten "0 Werte" bei den Studenten in der Abteilung II sind sicher nicht als pathologisch anzusehen, während sie bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation nicht mehr sicher als physiologisch angesehen werden können. Weitere vergleichende Untersuchungen sind zur Erforschung des physiologischen Grenzbereiches des 0-Phänomens erforderlich, um diese Ergebnisse für die Kreislaufdiagnostik zu verwerten.

Eine zuverlässige Beurteilung des diastolischen Leistungs- und Erholungsblutdrucks mittels indirekter Blutdruckbestimmung scheint zur Zeit nur nach dem Infratonverfahren möglich zu sein. Ob die Ergebnisse jedoch mit dem intraarteriellen Druck genau übereinstimmen, ist auch nicht sicher zu sagen. Hierfür kann erst durch blutig-unblutige Simultanmessungen der Beweis erbracht werden.

In folgendem Abschnitt werden zur Problematik des "0" Phänomens eigene Überlegungen zur Diskussion gestellt: Als diastolisches Blutdruckkriterium der Korotkoff'schen Methode wird bei linearer Druckminderung das Verschwinden des letzten leisen Geräusches genommen. Es ist bei Ruhemessungen mehr oder weniger sicher feststellbar. Das diastolische Kriterium der Infratonmethode ist nach Boucke-Brecht auf dem Registrierstreifen von links nach rechts die Übergangsstelle zu den gleichgroßen Oscillationen. Diese gleichgroßen Ausschläge sind aber meistens größer als die ersten systolischen Zacken. Ihr Anstieg erfolgt außerdem nicht so steil.

Es kann sich folglich bei diesen Ausschlägen, die in Ruhe infradiastolisch auf der Registrierkurve in dem Druckbereich vom diastolischen Kriterium bis Null in gleicher Höhe auftreten, nicht um Geräuschzacken von unhörbaren Schwingungsamplituden höherer Frequenzen über $\approx$ 20 Hz handeln. Da das Mikrophon und das Registriergerät Schwingungen von 0,3 - 500 Hz wiedergeben, können diese Ausschläge nur Frequenzen haben, die unter unserem wahrnehmbaren Frequenzbereich liegen. Damit würden die Vermutungen von Frank und Wezler (1931), daß man den Puls an der Kubitalisstelle nicht hört, weil er keine akustisch wirksamen Schwingungen, d. h. keine Frequenzen über 20 Hz enthält, experimentell bestätigt werden.

Die infradiastolischen Oscillationen, bzw. Frequenzen der Registrierkurven, müssen auch durch die Pulswelle entstehen. Bei einem übersystolischen Druck erfolgt nämlich auf dem Registrierstreifen kein Ausschlag, weil hier die Pulswelle nur bis zum oberen Rand der Manschette gelangt und durch deren Breite nicht zur Peripherie weitergeleitet werden kann, während sie aber bei einem infradiastolischen Druck ungehindert über das Gefäß ablaufen kann.

In der Leistungs- und Erholungsphase vergrößern sich nun alle Ausschläge einer Infratonregistrierkurve (Abb. 40 a - c). Sie können fast doppelt so groß werden wie die Ruheoscillationen. Die Bestimmungskriterien bleiben wie bei den Ruhekurven erhalten. Der auskultatorische Befund ist bei Simultanbestimmung im Verlaufe der Druckminderung zunächst entsprechend: die Korotkoff'schen Geräusche werden lauter. Das Verschwinden der Geräusche wie bei Ruhebestimmungen tritt jedoch, vorwiegend zu Beginn der Erholungsphase, häufig nicht

ein. Es sind dann dumpfe Geräusche bis zum Manschettendruck von Null mmHg zu hören.

Das Auftreten dieser Geräusche während und nach einer körperlichen Leistung kann nur die Folge einer Frequenzänderung, die im Zusammenhang mit der Pulswelle steht, sein. Sie muß im Sinne einer allgemeinen Frequenzerhöhung der Korotkoff'schen Geräusche erfolgen, die infradiastolisch akustisch wahrnehmbar werden. Die Ursache kann in der Vergrößerung des Schlag- und Minutenvolumens, in der stärkeren Beschleunigung der Blutgeschwindigkeit, in der Änderung des Elastizitätsmoduls der Gefäßwände und des peripheren Widerstandes zu finden sein. - Zur exakten Klärung dieser Überlegungen sind jedoch erst Frequenzanalysen erforderlich.

Bei zahlreichen zusätzlichen auskultatorischen und registrierenden Simultanmessungen während und nach körperlichen Leistungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit, konnte auskultatorisch in den meisten Versuchen bei linearer Druckminderung, wenn das Nullphänomen auftrat, deutlich ein Dumpfer- und Leiserwerden der Geräusche - wie bei Ruhemessungen vor dem Verschwinden der Geräusche - festgestellt werden. Dieses, dem Manschettendruck zugeordnete und abgelesene Kriterium, das dem "unteren Tonmaximum" von Parade und Ohr (1943) entsprechen dürfte, stimmte mit dem von Boucke-Brecht angegebenen diastolischen Kriterium im wesentlichen überein. Vermutlich wird es auch mit dem minimalen intraarteriellen Druck korrespondieren. Das Nullphänomen der Leistungs- und Erholungsphase geht in Übereinstimmung mit Anschütz und Drube (1954) und Parade und Ohr (1943), bedingt durch andere Kreislauffunktionen, sicher fälschlich in die Messung mit ein. Es ist deshalb zweckmäßig, bei der Messung des diastolischen Leistungs- und Erholungsblutdrucks sowohl das Dumpfer- und Leiserwerden als auch das Verschwinden der Korotkoff'schen Geräusche gleichzeitig zu bestimmen.

Seitendifferenzen lassen sich - bedingt durch die unterschiedlichen Meßmethoden der Simultanmessungen - nicht sicher ermitteln. Da aber bei den vorliegenden Untersuchungsergebnissen die Blutdruckmittelwerte des linken Armes systolisch und diastolisch jeweils gleichzeitig erhöht sind, wäre ein Linksüberwiegen anzunehmen. Denn würde die Empfindlichkeit des einen oder anderen Geräuschabnahmegerätes - Ohr und Mikrophon - verschieden sein, dann müßte die Druckamplitude des einen oder anderen synchron bestimmten Wertes entweder kleiner oder größer sein und nicht gleichgroß sein. Andererseits sind auch bei den gefundenen und bisher in der Literatur veröffentlichten Blutdruckseitendifferenzen nach Reihenuntersuchungen noch keine Differenzen der Amplitudengrößen gleichzeitig ermittelt worden, die gegen ein Linksüberwiegen dieser Untersuchungsergebnisse sprechen könnten. Die allgemeinen methodischen Meßfehler, wie nicht absolut synchrone Blutdruckbestimmungen und die bereits angeführten Fehler innerhalb der Meßmethoden, können allerdings auch durch den Vergleich der Mittelwerte allein nicht ausgeglichen werden.

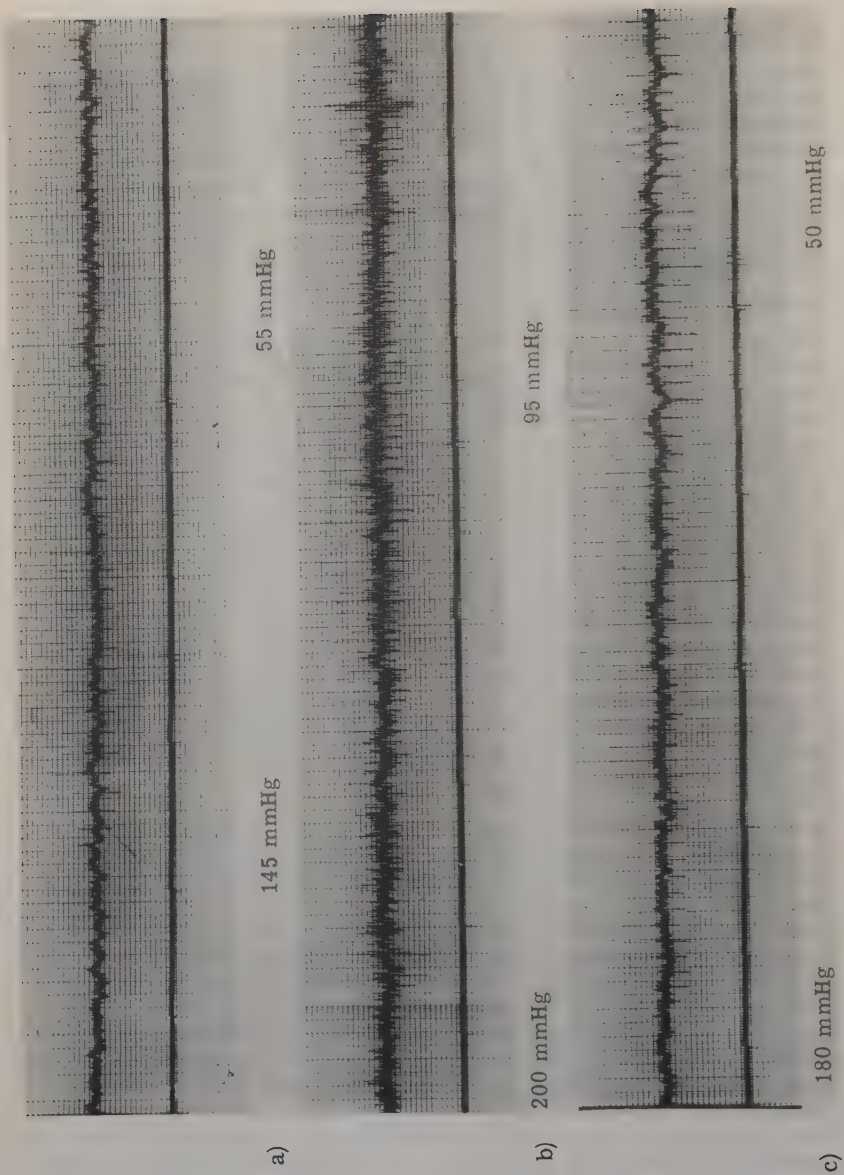

Abb. 40 Registrierte Blutdruckkurven der Vp. Ri. a) in Ruhe,
b) in der 3. Arbeitsminute bei einer Leistung von 2 Watt/kg,
c) in der 2. Erholungsminute nach einer Leistung von 2 Watt/kg Körpergewicht.
Obere Registrierlinie mit Oscillationen der Arteriengeräusche,
untere Registrierlinie mit Druckmarken.

II. Beurteilung der Ergebnisse der drei Vergleichsgruppen im einzelnen

Durch die Gegenüberstellung von Trainierten, Untrainierten und Jugendlichen mit hypertoner Regulation wird die unterschiedliche Wirkung intensiven Tainings - sportlicher Untätigkeit und hypertoner Regulation - auf den arteriellen Ruhe-, Leistungs- und Erholungsblutdruck aufgezeigt.

Die Blutdruckwerte in Ruhe bei unseren vergleichenden Untersuchungen entsprechen weitgehend den in der Literatur angegebenen Ruhewerten. Bei absolut und relativ geringerer Gesamterhöhung erreichen die hochtranierten Dauersportler schneller einen gleichbleibenden Leistungsdruck als die Vergleichsgruppen. Es wird jedoch ein ziemlich großes Maß an Training, speziell an Ausdauertraining erforderlich sein, bis sich dessen Einfluß auf das Verhalten des Blutdrucks auswirkt. Hollmann (1959) konnte zwischen Medizinstudenten und Sportstudenten bei gleichen Leistungen bis zu 150 Watt noch keine Differenzen in der Höhe des systolischen Blutdrucks feststellen. Sportstudenten werden körperlich sehr gut durchgebildet. Die Wirkungen auf Herz und Kreislauf sind durch diese Ausbildung aber ungleich geringer als durch ein spezielles Ausdauertraining, wie bei den Versuchspersonen unserer hochtrainierten Dauersportler, woraus sich das Fehlen des unterschiedlichen Verhaltens des Leistungsdrucks bei gleicher Leistung zwischen diesen beiden Vergleichsgruppen erklären läßt. Bei unseren untrainierten Studenten ist nach beiden Bestimmungsmethoden der absolute Anstieg des systolischen Leistungsdrucks wiederum geringer als bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation. Die relative Erhöhung ist nach der graphischen Methode annähernd gleich, nach der auskultatorischen Methode bei den untrainierten Studenten sogar größer als bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation. Der bei gleicher Leistung ermittelte absolut höhere, aber relativ geringere Anstieg des systolischen Leistungsdrucks der jugendlichen "Hypertoniker" ist ein Hinweis auf eine kleinere körperliche Leistungsbreite dieser Versuchspersonen im Vergleich mit den "Normotonikern".

In der Erholungsphase ist der Druckabfall allgemein schneller als der Druckanstieg in der Arbeitsphase. Bei den Trainierten erfolgt in Abteilung II nach der Boucke-Brecht-Methode der Druckabfall bis zur Ausgangslage mit etwas größerer Geschwindigkeit als bei den Untrainierten. Die Untersuchungsergebnisse von Weiß, die zeigten, daß der systolische Druck bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation in der Erholungsphase bis unter den Ausgangswert abfällt, können wir nicht bestätigen.

Bei den trainierten Dauersportlern sind auch die Veränderungen des diastolischen Druckes nach beiden Bestimmungsmethoden im Sinne des Anstiegs und Abfalls bei gleicher Leistung während der Arbeits- und Erholungsphase deutlich geringer als bei den untrainierten Studenten und bei diesen wiederum wesentlich kleiner als bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation. Zu Beginn der Erholungsphase scheint der Abfall des diastolischen Druckes, auch wenn das Nullphänomen berücksichtigt wird, um so größer und steiler zu sein, je untrainierter die Versuchspersonen sind und je größer die Leistung war. Der diasto-

lische Druck kann am Anfang der Erholungsphase, anscheinend in Abhängigkeit von der Größe der Leistung und der Leistungsfähigkeit, schneller abfallen als der systolische Druck.

Die absoluten Blutdruckamplituden sind in Ruhe und in der Leistungsphase bei den Dauersportlern am kleinsten und bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation am größten. Der relative Anstieg der Blutdruckamplituden ist dagegen bei den Dauersportlern nach der graphischen Registriermethode in Abteilung I wie Abteilung II größer als bei den Vergleichsgruppen. Die Ursache kann in der relativ starken Vergrößerung des Schlagvolumens bei den Dauersportlern während der Leistung zu finden sein. Nach der auskultatorischen Bestimmungsmethode lassen sich diese Ergebnisse wegen der Verlagerung des diastolischen Bestimmungskriteriums nicht sicher ermitteln. Dadurch wird auch in der ersten Erholungsminute bei den "Hypertonikern" in Abteilung I und bei den Dauersportlern und den untrainierten Studenten in Abteilung II ein anscheinend weiterer großer absoluter und relativer Anstieg der Amplituden gemessen, bevor der Abfall in den nächsten Erholungsminuten erfolgt. Die absolute und relative Zunahme der durchschnittlichen Blutdruckamplitude zu Beginn der Erholungsphase nach der graphischen Registriermethode bei den untrainierten Studenten in Abteilung II ist durch den initial steileren Abfall des diastolischen Druckes gegenüber dem etwas langsameren Abfall des systolischen Druckes bedingt.

F. Zusammenfassung

An drei Vergleichsgruppen wurde der arterielle Blutdruck in Ruhe und nach einer ergometrischen Leistung von 100 Watt in 6 Minuten und 6 Minuten Erholung in Abteilung I und 2 Watt pro kg Körpergewicht in 3 Minuten und 6 Minuten Erholung in Abteilung II im Liegen, simultan an beiden Armen auskultatorisch und graphisch bestimmt. Die Messungen erfolgten auskultatorisch nach der Methode von Korotkoff und graphisch nach dem Infratonverfahren von Boucke-Brecht.

Als Vergleichsgruppen wurden herangezogen:

1. Hochtrainierte Dauersportler
2. Untrainierte Studenten
3. Jugendliche mit hypertoner Regulation.

Ergebnisse:

1. Die mit den unterschiedlichen Meßmethoden simultan bestimmten systolischen Blutdruckwerte stimmen weitgehend überein, während die diastolischen Blutdruckwerte, besonders der Leistungs- und Erholungsphase z. T. weit voneinander abweichen.

2. Die Dauersportler erreichen bei absolut und relativ geringerer Gesamterhöhung des systolischen Druckes während der Leistung schneller einen gleichbleibenden Blutdruck als die Vergleichsgruppen. Bei den untrainierten Studenten ist der absolute Anstieg des systolischen Leistungsdrucks wiederum geringer als bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation. Die relative Erhöhung ist umgekehrt bei den untrainierten Studenten größer als bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation. Am Anfang der Erholungsphase erfolgt der systolische Druckabfall allgemein schneller als der systolische Druckanstieg bei Beginn der Leistungsphase. Bei den hochtrainierten Dauersportlern der Abteilung II fällt der systolische Druck, bestimmt nach der Boucke-Brecht-Methode, nach der Leistung mit etwas größerer Geschwindigkeit bis zu den Ruhewerten ab als bei den untrainierten Studenten.

3. Der diastolische Blutdruck steigt bei den von uns gewählten Leistungsgrößen in den meisten Fällen während der Leistung leicht an und fällt zu Beginn der Erholungsphase mehr oder weniger steil und weit bis unter den Ruhewert ab, ehe er wieder zur Ausgangslage zurückkehrt. Die Veränderungen des diastolischen Druckes sind absolut und relativ bei den Dauersportlern geringer als bei den untrainierten Studenten und bei diesen wiederum kleiner als bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation.

4. Das Auftreten des Arteriengeräusches bis zu einem Manschettendruck von 0 mmHg nach der Korotkoff'schen Methode während und bevorzugt nach körperlichen Leistungen ist nicht identisch mit dem diastolischen Blutdruck. Es läßt sich aus Frequenzerhöhungen, die im Zusammenhang mit der Pulswelle stehen, erklären. Die Ursache kann in der Vergrößerung des Schlag- und Minutenvolumens, in der stärkeren Beschleunigung der Blutgeschwindigkeit und in der Änderung des Elastitätsmoduls der Gefäßwände und des peripheren Widerstandes zu finden sein.

Je größer die Leistung ist und je untrainierter die Versuchsperson, desto eher scheint das Nullphänomen aufzutreten.

5. Die absolute Vergrößerung der Leistungsamplitude ist bei den Dauersportlern am kleinsten - bei den Jugendlichen mit hypertoner Regulation am größten. Die relative Vergrößerung der Leistungsamplitude ist dagegen bei den Dauersportlern größer als bei den Vergleichsgruppen. Es kann durch ein relativ vergrößertes Schlagvolumen der Dauersportler während der Leistungsphase bedingt sein.

Mit Förderung durch das Kuratorium für Sportmedizinische Forschung.

Literaturverzeichnis

Aalsmeer, W. C.	Wien. Arch. inn. Med. 23, 61 (1932)
Amann, G.	Medizinische Stuttgart 1, 416 (1956)
Andersen, K. L. and Elvik, A.	Acta med. scand. 153, 367 (1956)
Anschütz, F. und Burkert, E.	Zschr. Kreisl. forsch. 43, 335 (1954)
Anschütz, F. und Drube, H.-Chr.	Verh. Dtsch. Ges. Kreisl.forsch. 20. Jg., 278 (1954)
Bauereisen, E., Paerisch, M. und Schmerso, R.	Zschr. inn. Med. Leipzig, 8, 1077 (1953)
Beckmann, A.	Dtsch. med. Wschr. 78, 218 (1953)
van Bergen, F. H., Weatherhead, D. S., Treloar, A. E., Dobkin, A. B. and Buckley, J. J.	Circulation 10, 481 (1954)
Bondi, S.	Erg. inn. Med. 50, 308, 1936
Brecht, K. G., Amann, G., Boucke, H.	Münch. med. Wschr. 97, 112 (1955)
Brecht, K. und Boucke, H.	Klin. Wschr. 31, 668 (1953)
Brecht, K. und Boucke, H.	Pflügers Arch. Physiol. 43, 256 (1952)
Broemser und Liedholm	Zschr. Biol. 97, 313 (1936)
Drube, H. C. und Anschütz, F.	Zschr. Kreisl.forsch. 43, 534 (1954)
Edens, E.	Die Krankheiten des Herzens und der Gefäße. Springer Verlag, Berlin 1929
Emery, F. E.	Texas Rep. Biol. Med. 13, 23 (1955)
Federici, P. C.	Arch. path. clin. med. 32, 192 (1955)
Fowler, P. B. S. and Guz, A.	Brit. Heart J. 16, 1 (1954)
Frank, O. und Wezler, K.	Zschr. Biol. 91, 439 (1931)

Fraser, R. R. and Chapman, C. B.	Circulation 9, 193 (1954)
Garten, S.	Zschr. Biol. 66, 26 (1915/16)
Groedel, F. M.	Verh. Dtsch. Ges. Kreisl.forsch. 5, 78 (1932)
Hagen, H.	Medizinische Stuttgart, 1, 759 (1956)
Hansen, A. T.	Kreisl.forsch. 15. Jg., 97 (1949)
Hantschmann, L.	Die krankhafte Blutdrucksteigerung. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1952
Heinecker, R., Zipf, K.-E. und Lösch, H.-W.	Zschr. Kreisl.forsch. 49, 935 (1960)
Heinrich, K.	Wiss. Mitt. Baln. Inst. Nauheim 10 (1950)
Henschel, A., de la Vega, F. und Taylor, H. L.	J. App. L. Physiol. 6, 506 (1954)
Herxheimer, H.	Grundriß der Sportmedizin. Georg Thieme Verlag, Leipzig 1933
Hollmann	Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung. Kreislaufbücherei Band 17 Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, Darmstadt 1959
Hoyer, H.	Med. Mschr. 9, 448 (1955)
Hoyer, H.	Med. Mschr. 10, 784 (1956)
Kirchsieper, H. M.	Zschr. Kinderhk. 71, 422 (1952)
Korner, P. J.	Austral. J. Exper. Biol. 30, 375 (1952)
Krestownikow, A. W.	Physiologie der Leibesübungen. VEB-Verlag, Volk und Gesundheit, Berlin 1953
Krethlow, A.	Physikalisch-Technisches Praktikum für Mediziner. Springer Verlag, Berlin 1930
Kusui, K. and Miyano, Y.	Med. Rep. Wakayama, 2, 97 (1955)
Laszt, L., Müller, A. und Pirscher, L.	Verh. Dtsch. Ges. Kreisl.forsch. 15. Jg., 93 (1949)
Mellerowicz, H.	Vergleichende Untersuchungen über das Ökonomieprinzip in Arbeit und Leistung des trainierten Kreislaufs und seine Bedeutung für die präventive und rehabilitive Medizin. Verlag Dr. Dietrich Steinkopff, Darmstadt 1956

Mellerowicz, H., Schmutzler, H. und Maidorn, K. — Zschr. Kreisl.forsch. 47, 792 (1958)

Merke, F. und Müller, A. — Zschr. exper. Med. 46, 332 (1935)

Metzner, A. — Untersuchung und Beurteilung des Kreislaufs. In: Praktische Sportmedizin von F. Heiss. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1960

Müller, A. — Bull. Schweiz. Akad. med. Wiss. 7, 402 (1951)

Müller, O. und Blauel, K. — Dtsch. Arch. klin. Med. 91, 517 (1907)

Nöcker, G. — Grundriß der Biologie der Körperübungen. Sportverlag, Berlin NW 7, 1954

Parade, G. W. und Ohr, A. — Zschr. klin. Med. 143, 343 (1943); 143, 252 (1943); 143, 257 (1943); 143, 266 (1943)

Recklinghausen, von — Blutdruckmessung und Kreislauf in den Arterien des Menschen. Verlag von Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1940

Reindell, H., Klepzig, H. und Steim, H. — Die sportärztlichen Herz- und Kreislaufberatung. Sportmedizinische Schriftenreihe Wander, Heft 3

Reindell, Schildge, E., Klepzig, H., Kirchhoff, H. W. — Kreislaufregulationen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1955

Rothschuh, K. E. — Geschichte der Physiologie. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1953

Rutenfranz, J., Hellbrügge, Th., Keilhacker, E. — Zschr. Kinderhk. 85, 317 (1961)

Schroeder, H. A. and Menhard, E. M. — Amer. Heart J. 51, 577 (1956)

Stein, E. — Aerztl. Wschr. 11, 557 (1956)

Trommer, K. — Klin. Wschr. 6, 1996 (1927)

Turnhagen, W. — Dtsch. med. Wschr. 74, 1362 (1949)

Wagner, R. — Methodik und Ergebnisse fortlaufender Blutdruckschreibung am Menschen. Georg Thieme Verlag, Leipzig 1942

Weiß, A.	Verh. Dtsch. Ges. Kreisl.forsch. 15. Jg., 273 (1949)
Wezler, K.	Verh. Dtsch. Ges. Kreisl.forsch. 15. Jg., 1 (1949)
Wolf, H.J. und v. Bonsdorf, B.	Zschr. exp. Med. 79, 569, 1931
Wright, J. S., Schneider, R. T. and Ungerleider, H. E.	Amer. Heart J. 16, 469 (1938)
Schellong, F. und Lüderitz, B.	Regulationsprüfungen des Kreislaufs. Steinkopff, Darmstadt 1954

Hierdurch danke ich Herrn Priv. Doz. Dr. med. H. Mellerowicz für seine freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und der Fertigstellung der Arbeit.

Lebenslauf

Am 25. April 1932 wurde ich, Kurt Maidorn, als Sohn des Müllermeisters und Landwirtes Kurt Maidorn und seiner Ehefrau Martha Maidorn geb. Flössig in Prieschka Krs. Liebenwerda geboren.

Im April 1938 wurde ich in die Volksschule meines Heimatortes eingeschult. An der Oberschule in Elsterwerda legte ich am 5. Juni 1950 die Reifeprüfung ab.

Nachdem ich mich in der S. B. Z. mehrmals vergeblich zum Medizinstudium beworben hatte, erhielt ich zum Studienjahr 1952/53 die Zulassung zum Sportstudium an der Martin-Luther-Universität in Halle. Im April 1953 siedelte ich mit meinen Eltern nach West-Berlin um und immatrikulierte zu Beginn des Sommersemesters 1953 an der Freien Universität Berlin mit den Fächern Leibeserziehung und Biologie. Zum Sommersemester 1954 wechselte ich zur Medizinischen Fakultät über. Die praktische Sportausbildung führte ich neben dem Medizinstudium bis zum Sommersemester 1955 zu Ende. Am 30. Oktober 1956 legte ich an der Freien Universität die ärztliche Vorprüfung und am 24. März 1960 die ärztliche Prüfung ab.